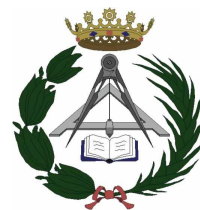




UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA
TÉCNICA



MASTER EN TÉCNICAS Y SISTEMAS DE EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MASTER



***“RECICLADO DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LÁMINAS
IMPERMEABILIZANTES EN LA CONSTRUCCIÓN”***

Alumno:

Luís Aguado Alonso

Profesor Tutor:

Dr. D. Mariano González Cortina

CURSO 2009-2010

TÍTULO: Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción

AUTOR: Luis Aguado Alonso

PROFESOR TUTOR: Dr. D. Mariano González Cortina

OBJETO:

Como es bien sabido, los procesos de fabricación de algunos productos para la construcción generan residuos que, bien por razones prácticas de la producción, falta de interés de la industria o dificultades técnicas en el reciclado, se desechan. Solo cuando se garantiza la amortización de los costes y la rentabilidad de los productos obtenidos a partir de residuos reciclados, se puede justificar la inversión necesaria para poner en marcha el sistema de aprovechamiento de estos residuos.

El presente trabajo de investigación se ha realizado en las instalaciones de la empresa DANOSA, dedicada, entre otros, a la fabricación de láminas impermeabilizantes.

Está ubicada en el Polígono Industrial de Fontanar, en Guadalajara. Tiene implantado un Sistema de Gestión de la calidad según norma ISO 9001 desde 1998, certificado por AENOR y en el apartado de instalaciones cuenta con un laboratorio que forma parte del departamento de I+D+i donde se realizan los trabajos propios del auto control o control interno de la producción, tanto de materias primas, como de productos semi elaborados y productos terminados.

El trabajo desarrollado contempla utilizar productos reciclados de otros usos, como el polvo de neumáticos reciclados, como aditivo de la masa asfáltica preparada para la fabricación de láminas asfálticas.

El objetivo, en todo caso tiene dos vertientes: una, abaratar los costes de producción sin disminuir las prestaciones del producto, y otra reducir los residuos de la producción propia y los de otros sectores de la producción que se puedan aprovechar por sus propiedades o los beneficios que puedan aportar al producto.

Este trabajo de investigación se viene realizando desde el año 2006 habiéndome centrado en la utilización del SBR, caucho sintético reciclado (polvo de neumáticos) aplicado a la fabricación de láminas asfálticas impermeabilizantes, concretamente

durante los años 2008 y 2009 en los laboratorios de DANOSA en Fontanar (Guadalajara).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	9
1.1 Los materiales bituminosos en la construcción:	
Origen y desarrollo.	9
1.2 Componentes.	11
1.3 Caracterización del material	14
1.4 El estado de la cuestión	15
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1 Objetivos	18
2.2 Antecedentes	18
2.3 Reciclado y aplicaciones de los NFU'S	19
2.3.1 Objetivo del reciclado de neumáticos usados	21
2.3.2 Lugares donde depositar el neumático usado	22
2.3.3 Descripción de las materias primas de los neumáticos	22
2.3.4 Causas del desgaste anormal de un neumático	25
2,3,5 Procesos de tratamiento de neumáticos fuera de uso	26
2,3,5,1 Reducción	26
2,3,5,2 Reutilización: recauchutado	27
2.3.5.3 Reciclado	28
2.3.6 Valoración energética	29
2.3.7 Eliminación	30
2.4 Proceso industrial para el reciclaje de NFU'S	30
2.4.1 Recepción del neumático y almacenamiento	30
2.4.2 Alimentación de neumáticos en planta	31
2.4.3 Etapa de trituración	31

2.4.4 Etapa de trituración y granulado principal	31
2.4.5 Clasificación de primeros productos y tercera molienda	32
2.4.6 Molienda fina	33
2.5 Aplicaciones de los neumáticos reciclados	34
2.5.1 Aplicaciones implantadas	35
2.5.2 Aplicaciones en fase de desarrollo	39
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	40
3.1 Fabricación de láminas asfálticas	40
3.2 Ensayos realizados	42
3.3 Obtención de la granza de SBR	50
3.3.1 Preparación masas en laboratorio	51
3.3.2 Preparación láminas en laboratorio (FP, FV, AL y PE)	51
3.3.3 Preparación masas y láminas en fabricación	52
3.4 Instalación en cubiertas	54
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
4.1 Masas en laboratorio	59
4.2 Láminas en laboratorio (FP, FV, AL y PE)	68
4.3 Ensayo de pelado lámina-soporte (UNE EN 104-481)	69
4.4 Ensayo de cizallamiento solape (UNE EN 12317-1)	69
4.5 Ensayo pelado del solape (UNE EN 12316-1)	70
4.6 Preparación masas y láminas en fabricación	70
4.7 Fabricación del mástico	71
4.8 Resultados	73
4.9 Producto instalado	81
5. SITUACIÓN EN ESPAÑA: MARCO LEGAL	85
5.1 Ejemplo de sistema integrado de gestión	87

5.2 Comparación con otros países	87
5.3 Comentarios al estudio comparativo	89
6. CONCLUSIONES	91
7. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	92
8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	93
9. OTRAS FUENTES DOCUMENTALES	95
10. NORMAS DE REFERENCIA	96

Introducción

Los residuos generados por la fabricación de productos para la construcción son relevantes, aunque no es un dato que resulte fácilmente asequible, dependiendo de muchos y diversos factores, por lo que cabe suponer que tienen una incidencia negativa en la producción, salvo que se aprovechen reutilizándolos en los diferentes procesos, tanto por obligación para el cumplimiento con la ley de residuos, como por la posible rentabilidad que se pudiera derivar de su reciclado y posterior utilización.

Una variante clara, lo constituyen aquellos productos de construcción que utilizan los residuos de la producción propios del sector o de otra actividad, para incorporarlos a los procesos productivos de nuevos materiales o para mejorar las prestaciones de los ya conocidos.

Por tanto, en la actividad productiva de los fabricantes de materiales de construcción se generan residuos que no siempre se aprovechan o simplemente se desechan por no ser factible su reutilización o por no ser rentable desde el punto de vista económico, limitándose entonces las actuaciones a cumplir simplemente con la legislación vigente en la materia.

Aunque en muchos casos si se reutilizan. Aún más: se reutilizan residuos de otros sectores de actividad, como los neumáticos fuera de uso.

Precisamente es en este terreno donde se enmarca el objetivo de este trabajo de investigación.

1. Estado actual del conocimiento

1.1 LOS MATERIALES BITUMINOSOS EN LA CONSTRUCCIÓN.

ORIGEN Y DESARROLLO

Los materiales bituminosos han sido utilizados en la antigüedad para impermeabilización, siendo muchas las referencias históricas que nos han llegado del conocimiento de sus propiedades como materiales estancos y de su aplicación en las construcciones antiguas para conseguir la estanquidad en cubiertas de edificación por artesanos de la construcción en diferentes épocas de la humanidad.

Centrándonos en la historia más reciente, podemos decir que la evolución tecnológica ha tenido lugar en los últimos cincuenta años, situándonos en el umbral del año 2.000 con productos de avanzado desarrollo, por cuanto la investigación y la experiencia sirven para mejorar día a día las prestaciones y ampliar las posibilidades de uso de los materiales bituminosos.

Los materiales o productos bituminosos, se pueden clasificar según su forma de aplicación y su presentación en dos grandes grupos:

Productos elaborados.

Productos prefabricados.

Los productos elaborados son aquellos que se aplican “in situ” en el punto de utilización, realizándose allí un proceso de transformación físico, químico o fisicoquímico. Este proceso puede consistir en evaporación de disolvente o de agua (este es el caso de las pinturas y emulsiones), curado químico (caso de algunos selladores de juntas, fundamentalmente de aplicación en frío), etc. En general, los productos elaborados se presentan en bidones, en estado fluido o en pastillas, en estado sólido.

Los productos prefabricados son aquellos que están listos para ser utilizados y se aplican directamente. Son productos laminares y se presentan en forma de rollos o de placas.

Los productos elaborados fueron muy utilizados en épocas anteriores, porque no existían todavía productos prefabricados o por estar estos poco desarrollados.

En la actualidad, son un complemento de los productos prefabricados que son los que soportan la parte más importante del consumo de productos bituminosos en impermeabilización.

Los principales productos elaborados que se utilizan en impermeabilización son:

- Emulsiones asfálticas.
- Pinturas de imprimación.
- Pinturas de protección.
- Pegamentos.
- Materiales para sellado de juntas.

No entraremos a analizarlos en detalle, desde el punto de vista de su naturaleza, composición y características, dado que, como se indicó anteriormente, suelen utilizarse como materiales complementarios, pero si citaremos sus aplicaciones.

Las emulsiones asfálticas se utilizan algunas en carreteras, otras como imprimadores para preparación de superficies o para realizar recubrimientos impermeables multicapas a base de intercalar capas de emulsión con armaduras resistentes.

Las pinturas de imprimación se utilizan para mejorar la adherencia del material impermeabilizante al soporte.

Las pinturas de protección, suelen utilizarse sobre impermeabilización en edificación y como material acabado.

Los pegamentos bituminosos se emplean como adhesivos para unir productos prefabricados entre si, o con la base previamente preparada.

Los materiales para el sellado de juntas, se utilizan para lograr la estanquidad de las mismas.

Los productos prefabricados son los que soportan en la actualidad la parte más importante del consumo de productos bituminosos. Se presentan en forma laminar en rollos o placas.

1.2 COMPONENTES

Están formados por tres componentes fundamentales:

- 1 - Mástico bituminoso.
- 2 - Armadura
- 3 - Material de terminación

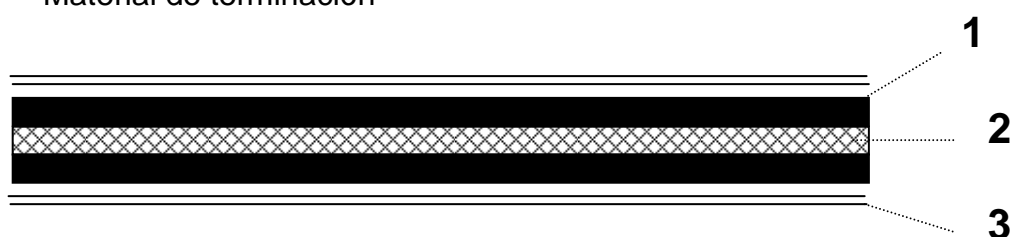


FIGURA1 Sección de lámina impermeabilizante bituminosa

1.2.1 El mástico bituminoso

El mástico bituminoso. Es el componente verdaderamente impermeabilizante. De la destilación del petróleo se obtiene: el betún asfáltico de penetración, materia prima básica de la que se obtienen todos los másticos asfálticos.

Para poder laminarlo, se tienen que realizar ciertas modificaciones, que dan lugar básicamente a tres tipos de másticos:

OXIASFALTO

OXIASFALTO MODIFICADO

BETUN MODIFICADO

A continuación, la tabla comparativa de características básicas:

MASAS BITUMINOSAS			
PROPIEDADES FÍSICAS	OXIASFALTO	OXIASFALTO MODIFICADO	BETUN ELASTOMERO (SBS)
Resistencia al calor (Punto de reblandecimiento de la masa)	90-100 °C	95-105°C	110-125°C
Resistencia al frío (Rotura por plegabilidad de las láminas)	5°C	-5°C	-10°C
Elasticidad y Retorno Elástico	Nula	Regular	Excelente
Resistencia al envejecimiento	Mala	Algo Mejor	Buena

Tabla 1 Características básicas de las masas bituminosas

1.2.2 La armadura

La *armadura* tiene como finalidad, servir como soporte y le da resistencia mecánica al material impermeabilizante. La resistencia al punzonamiento la obtenemos con las armaduras de poliéster (figura 2) y la estabilidad dimensional con la fibra de vidrio. Existen láminas con doble armadura (figura 3), que ofrecen ambas propiedades.

Hay también láminas con armadura de polietileno, que se caracteriza por su elongación y las hay sin armadura, como es el caso de algunas láminas autoprotegidas con hoja metálica, empleadas como lámina de terminación.

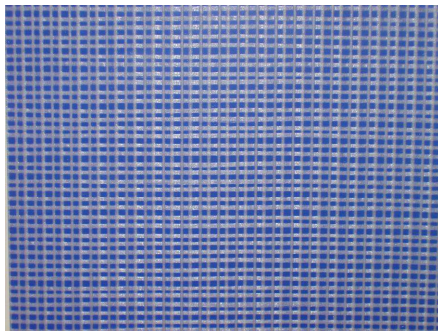


FIGURA 2 Armadura malla FP

FIGURA 3 Armadura VV y malla FV

En la actualidad las más utilizadas son los fieltros de fibra de vidrio, film de polietileno, fieltro de poliéster no tejido y los compuestos fieltros - mallas de última generación.

1.2.3 El material de terminación

Materiales de Terminación. Se trata de los materiales con los que se acaban superficialmente las láminas bituminosas, y pueden ser de dos tipos: de protección y antiadherentes.

Materiales de Protección. Protegen la superficie externa de las láminas bituminosas que se van a colocar expuestas a la intemperie, y pueden ser de dos tipos:

Autoprotección Mineral: Pizarra o gránulos cerámicos coloreados.

Autoprotección Metálica: Esencialmente aluminio gofrado, bien sea en su color natural o coloreado, o cobre gofrado.

Material antiadherente. Impiden que el material se adhiera durante su almacenamiento y transporte, y pueden ser de plástico o arena fina

Las láminas más utilizadas en impermeabilización son las de betún modificado, que son productos prefabricados laminares, constituidos por una sola o varias armaduras, recubiertas con mástico a base de betún modificado, material antiadherente plástico, y eventualmente una protección.

El betún se modifica para mejorar sus propiedades con polímeros que, según sus características, da lugar a distintos tipos de láminas.

Las láminas de betún modificado SBS son las que incorporan el caucho o elastómero estireno-butadieno-estireno como polímero modificador.

Este material, se mezcla con un betún asfáltico de penetración en una proporción que suele variar del 10 al 15%. La mezcla resultante final, además de tener un punto de reblandecimiento, normalmente comprendido entre 110 y 130°C, tiene muy buenas propiedades elásticas, debido al SBS, y sobre todo, memoria o retorno elástico. El SBS le dá, además, una resistencia al frío muy superior al betún de partida, no debiendo romper al doblarse sobre mandril a -20°C.

1.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Las láminas bituminosas con armadura para la impermeabilización de cubiertas recogidas en la norma UNE-EN 13707:2005, Láminas flexibles para la impermeabilización. Láminas bituminosas con armadura para impermeabilización de cubiertas. Definiciones y características, están sujetas a marcado CE obligatorio según Resolución de 9 de noviembre de 2005, publicada en el BOE de fecha 1 de diciembre de 2005.

Si bien el anexo ZA de la UNE-EN 13707:2005 contempla un conjunto de propiedades relevantes para las cuales los fabricantes deben declarar los valores correspondientes, únicamente se exige un valor umbral para el requisito de estanquidad.

Aunque el CTE establece que los productos para impermeabilización se definen mediante dichas propiedades relevantes, la ausencia de unos valores mínimos o máximos para las mismas, provoca un vacío exigencial respecto a las prestaciones de los productos que podría afectar al rendimiento y durabilidad de las obras.

Como quiera que estos materiales están sujetos al marcado CE, la norma que los ampara es de carácter prestacional, por lo que, como ya se ha dicho, no hay establecido un rango de valores para las características correspondientes, sino que cada fabricante incluye en el marcado los valores declarados.

En el sector se sigue utilizando la Marca N de AENOR como sello de calidad voluntario, y en el Reglamento Particular de la marca sí se incluyen unos valores como referencia que cuentan con el visto bueno no solo de la industria, sino de los laboratorios y colegios profesionales.

1.4 EL ESTADO DE LA CUESTIÓN

No hay referencias científicas de la utilización de otros polímeros para modificar el betún con el que se elaboran los másticos utilizados en la fabricación de las láminas asfálticas salvo el polipropileno atáctico (APP) y el etileno betún copolímero (ECB), debido probablemente a que los trabajos, si los hay, los guardan celosamente los fabricantes.

Romolo Gorgati⁽¹⁾ en el año 1964 desarrolló un sistema de elaboración de másticos de APP para fabricar láminas de betún modificado en Italia, como láminas impermeabilizantes para la construcción y obra civil.

Angel Cuevas⁽²⁾ y su equipo del CEDEX emplearon estos polímeros en la elaboración de másticos desde el año 1996, con resultados que demostraron una sensible mejora en el comportamiento de las láminas fabricadas a partir de estos másticos en el punto de reblandecimiento y la resistencia al frío (plegabilidad).

Mientras tanto Antonio Ruiz Duerto⁽³⁾ trabaja en los Documentos de Idoneidad Técnica para certificar productos novedosos.

J.J. Ortega y López de Prado⁽⁴⁾, realizó estudios sobre los primeros ensayos con betunes poliméricos en 1987

Santiago Iborra⁽⁵⁾ se centró más en las aplicaciones de las láminas de betún modificado con APP en los sistemas de cubierta invertida en 1987.

Thomas L. Smith, Karen Y. Liu, Ralph M. Paroli y Phillip W. Childs⁽⁶⁾ también trabajaron en el campo experimental sobre el comportamiento de las láminas de betún modificado con algún tipo de APP en 1998.

Javier Brasal⁽⁷⁾ realizó un estudio comparativo de envejecimiento de láminas asfálticas de SBS y APP en 1996.

No pueden quedar sin citar los cuadernos monográficos sobre los plásticos en la construcción de Alfonso García Santos⁽⁸⁾ en 1999 que desglosa con criterio las principales variedades de polímeros.

Pero nada sobre aditivos como el caucho sintético procedente de los neumáticos usados, añadidos al betún para mejorar sus prestaciones y abaratar los costes de fabricación, así como su aprovechamiento para reciclar materiales que de otra forma provocan un gran impacto ambiental.

En Estados Unidos existe una industria muy desarrollada en la fabricación de betunes modificados con neumáticos reciclados para la construcción de firmes de carreteras de mejores prestaciones en cuanto a desgaste, condiciones bajo lluvia, agarre y drenaje

M.R. Bollati, B. Witoszek y F. Hernández Olivares⁽⁹⁾ si realizan interesantes trabajos de investigación en el campo de los asfaltos modificados con polvo de neumáticos reciclados aplicados en la elaboración de pavimentos para la construcción de firmes de carreteras en 2002, y B. Witoszek y F. Hernández Olivares con M. Alonso y C. Benito-Moro⁽¹⁰⁾ que desarrollan procesos en seco sobre pavimentos asfálticos en caliente modificados con polvo de neumáticos, así como Pérez-Jiménez, Miró Recasens⁽¹¹⁾ y otros en 2006.

Hasta ahora los estudios sobre el aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso, han estado orientados a la obtención de energía, a minorar el impacto ambiental y los riesgos que ello conlleva y a la elaboración de pavimentos asfálticos para superficies de rodadura, diseñados todos ellos para la absorción acústica, es decir, para limitar el ruido del tráfico rodado en áreas próximas a zonas habitadas.

2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

El procedimiento seguido ha sido centrar el trabajo de investigación en la actividad del sector de fabricantes de láminas impermeabilizantes para la edificación y obra civil.

Por acotar el tamaño de la muestra solo se ha trabajado con empresas fabricantes de productos con marca de calidad ubicadas en la zona centro.

El trabajo llevado a cabo comienza con la selección de los materiales empleados y la descripción de sus características.

Después se realiza una descripción de los métodos de ensayo que se han puesto en práctica y del proceso de fabricación de las láminas con el aditivo incorporado.

2.1 OBJETIVOS

El objetivo del trabajo ha sido el desarrollo y seguimiento de productos para la construcción, en cuyo proceso de fabricación se ha incorporando un determinado porcentaje de material reciclado. La procedencia del residuo añadido a la fabricación es del sector del automóvil, utilizando el polvo de neumáticos reciclados, para mejorar la elasticidad de las láminas impermeabilizantes de base asfáltica.

2.2 ANTECEDENTES

En el reciclado de este tipo de neumáticos se produce un polvo que se viene utilizando en la construcción de los firmes de carreteras en países como Estados Unidos de Norte América.

También en España se emplea como materia prima en la construcción de firmes bituminosos, ya que aporta a la mezcla asfáltica una mayor flexibilidad y resistencia a las deformaciones plásticas debido al aumento del punto de reblandecimiento que origina sobre el ligante.

Esas propiedades hacen que se puedan mejorar las prestaciones de las láminas impermeabilizantes fabricadas con mezclas bituminosas

modificadas con polímeros añadiendo un cierto porcentaje de polvo de neumáticos reciclados, eliminando estos residuos y abaratando el coste de producción en fábrica. En este trabajo se han desarrollado láminas bituminosas a las que se ha incorporado en el proceso de fabricación polvo de neumático reciclado (SBR).

El conocimiento de la composición de los neumáticos y el tratamiento al que son sometidos en los distintos procesos de reciclado, así como el panorama del sector desde el punto de vista del medio ambiente y como proveedores de materia prima, son aspectos que ha sido necesario investigar previamente, incorporándose aquí la información obtenida.

2.3 RECICLADO Y APLICACIONES DE LOS NFU'S

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer, una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo¹⁶.

En España dejan de rodar más de 10 millones de neumáticos al año. Darles el tratamiento adecuado para que vuelvan a hacerlo, reciclarlos o emplearlos como combustible son algunos de los objetivos del Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 (PNNFU), que prohíbe desde 2006 su vertido en cualquier tipo de forma.

Deshacerse de forma limpia de los neumáticos inservibles no es nada fácil. La quema directa de este tipo de residuos, por ejemplo, provoca la emisión a la atmósfera de gases y partículas nocivas. Y como la combustión en hornos de alta calidad que garanticen un mínimo de emisiones resulta muy cara, año tras año, toneladas de neumáticos han acabado sus días abandonados en campos y cunetas o almacenados en vertederos. Según el Ministerio de Medio Ambiente, éste era el destino final del 82,8% de las 280.000 toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU) que se generaban cada año en España.



Figura 4 Almacén de NFU's

Además del impacto visual y el espacio que ocupan las pilas de goma y caucho, la degradación química parcial que sufren los neumáticos hacen de los cementerios de ruedas lugares cuando menos poco seguros. Mucho mayor es el impacto ambiental de los neumáticos que acaban en el campo o en vertederos incontrolados.

El PNNFU 2001-2006, aprobado por el Gobierno en octubre de 2001, pretende acabar con el vertido de neumáticos aplicando las famosas tres erres del reciclado: reducir, reutilizar y reciclar. En apartados siguientes se tratará cada posibilidad por separado.

Los neumáticos nuevos incorporan un máximo de un 5% de goma reciclada, cantidad que podría aumentarse sin dificultad hasta valores del 30%, con el consiguiente ahorro energético.

El aprovechamiento directo de la energía contenida en los neumáticos puede hacerse mediante incineración o a través de la fabricación de un combustible especial llamado precisamente Combustible Derivado del Neumático o CND (TDF en inglés). Pero es una opción que el PNNFU autoriza sólo cuando sea imposible otro tratamiento.

2.3.1 OBJETIVO DEL RECICLADO DE NEUMATICOS USADOS

A través del Real Decreto sobre Vehículos al Final de su Vida útil Fuera de uso (VFU) y de acuerdo con la Directiva 2000/53/CE, queda prohibido arrojar neumáticos fuera de su uso a los vertederos.

Los objetivos ecológicos encaminados a conseguir el vertido cero son asumibles y se pueden alcanzar con una actuación coherente encaminada a favorecer la utilización de los productos obtenidos en el reciclaje. El reciclaje entendido como el aprovechamiento de los componentes materiales del neumático es sin lugar a dudas el método más limpio y ecológico de eliminar éste residuo, evitando el despilfarro y la merma de las reservas naturales de materias primas vírgenes en los casos que los materiales obtenidos del reciclaje pueden sustituir con garantía a éstas en calidad y precio.

2.3.2 LUGARES DONDE DEPOSITAR EL NEUMATICO USADO

El Decreto que regula el uso de neumáticos usados obliga a los usuarios a depositarlos en lugares en los que se garantice un tratamiento adecuado. Una persona que compre las ruedas en un centro comercial o en una tienda particular y cambie él mismo las usadas por las nuevas tiene dos opciones:

- a.** Depositar los neumáticos usados en cualquier taller en el que le aseguren un tratamiento adecuado. Por lo general, las diferentes empresas de reciclaje también gestionan con estos talleres su recogida.
- b.** Llevarlos a centros específicos en los que puede reciclar cualquier material. Son los llamados puntos blancos o puntos limpios y se extienden por todas las comunidades autónomas.



Figura 5 Centro de recogida de NFU's

2.3.3 DESCRIPCION DE LAS MATERIAS PRIMAS DE LOS NEUMATICOS

MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que se utilizan para fabricar un neumático son: el caucho, el negro de humo, el metal (acero), el textil, el óxido de zinc y el azufre, además de otros aditivos.

El caucho se mezcla con el negro de humo para que este adquiera mayor consistencia, luego se le agregan aditivos que le dan una resistencia mayor y un olor más agradable, y por último se mezcla con el óxido de zinc y azufre que le dan la moldeabilidad necesaria.

El caucho puede ser natural o artificial. El caucho natural es una sustancia que se extrae de árboles de zonas tropicales, mientras que el caucho artificial se obtiene en su mayoría del petróleo bruto. Hasta ahora el más empleado es el SBR o "Bruna S" a base de estireno y butadieno. El SBR es el que más se ha vendido empleándose para la banda de rodadura de los neumáticos, con un 30 % más de duración que el caucho natural.

Composición del neumático de turismos

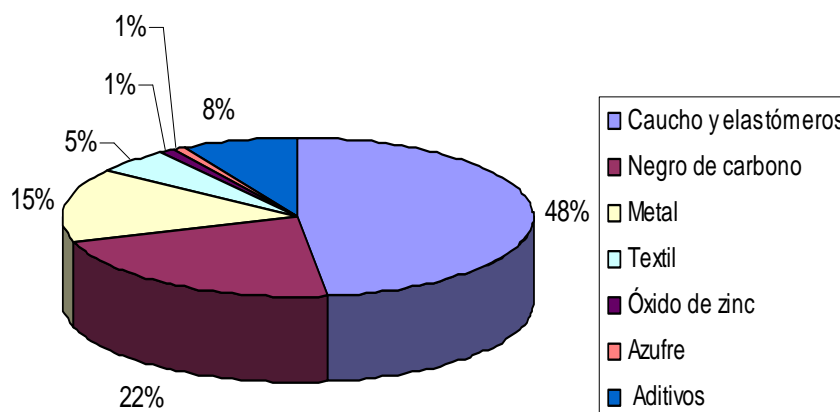


Gráfico 1 Neumáticos turismos

PARTES DEL NEUMÁTICO

1 -Recubrimiento interior: se utiliza un compuesto de caucho como sello de aire dentro del neumático. La capa representada por el recubrimiento interior no tiene telas de refuerzo y tiene una función similar a la de una cámara.

2 -Cuerda: hebras textiles o no textiles usadas en varios componentes del neumático.

Se denominan Telas al conjunto de cuerdas, recubiertas de goma.

3 -Talón: los talones fijan el neumático a la llanta. Son alambres de acero trenzado que adoptan la forma de un cable o una cinta. Las telas de la carcasa se envuelven alrededor de los talones manteniéndolos en su lugar. Se incorpora un compuesto de caucho en el perfil del talón como relleno, extendiéndose hasta la zona de la banda lateral.

4 -Pestaña: conjunto de alambres de acero recubiertos con caucho, que permiten al neumático adherirse al aro del vehículo formando un solo cuerpo evitando que se desmonten.

5 -Banda lateral: se utiliza un compuesto de caucho especial en las bandas del neumático, que le otorga flexibilidad y resistencia a los agentes atmosféricos.

6 -Breaker (Neumático convencional): tela intermedia entre la carcasa y la banda de rodamiento.

En la parte superior de la carcasa se coloca durante el proceso de fabricación lo que llama el **Cinturón**. Su función es brindar estabilidad a la banda de rodamiento del neumático, lo que mejora el desgaste, el manejo y la tracción. El material más empleado para cinturones es el acero.



Figura 6 Esquema de neumático (Catálogo Pirelli)

7 -Carcasa: la carcasa es el cuerpo del neumático. La mayor parte de las carcasas de neumáticos para automóviles tienen una o dos telas. Incorpora cordones de hilado de poliéster, nylon o rayón dentro del compuesto de caucho de la carcasa. Estos cordones hacen más resistente el caucho de la carcasa.

Sobre el cinturón se coloca la banda de rodamiento que generalmente contiene dos compuestos de caucho. El compuesto de la base de la banda de rodamiento se adhiere al cinturón cuando se vulcaniza el neumático, es más frío durante el rodaje mejorando la durabilidad y ayuda a mejorar la estabilidad del área bajo la banda de rodamiento del neumático. La parte exterior de la banda de rodamiento se fabrica normalmente con un compuesto resistente a la abrasión y de mayor adherencia al piso, que actúa junto con la base de la banda de rodamiento y el dibujo de la misma para brindar tracción y kilometraje (durabilidad).

Composición del neumático de vehículos pesados

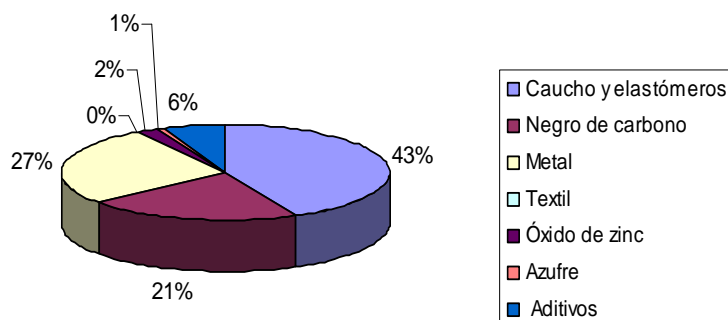


Gráfico 2 Neumáticos vehículos pesados

2.3.4 CAUSAS DE DESGASTE ANORMAL DE UN NEUMATICO

El desgaste anormal de un neumático puede deberse a varias causas¹⁷:

1. Tipo de carretera, la velocidad y el estilo de conducción, la temperatura ambiente y el clima, la potencia del vehículo o una elección incorrecta del neumático para el tipo de trabajo que va a desarrollar.
2. Al desreglaje del paralelismo de los neumáticos (alineación) o un carrozaje o contracarrozaje excesivos.
3. Presión incorrecta en los neumáticos.
4. A causa de agentes externos: el paso del tiempo, la acción de la luz solar, los hidrocarburos, disolventes y ácidos pueden atacar muy agresivamente el compuesto de goma deteriorándola por completo.
5. Cortes producidos por piedras, cristales, metales, etc.
6. Choques o pellizcos.
7. Problemas del propio vehículo: amortiguadores en mal estado, problemas en el sistema de dirección, anomalías en el funcionamiento del sistema de frenado, etc.

2.3.5 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE NEUMATICOS FUERA DE USO

Los neumáticos originan residuos producidos en gran cantidad. Con el fin de llevar a cabo una correcta gestión de los mismos, es posible aplicar el principio jerárquico 3RVE (reducción, reutilización, reciclado, valorización y eliminación, en este orden).

El conjunto de las actuaciones previstas en la normativa en vigor, están orientadas a conseguir una serie de objetivos jerarquizados.

- a. Aumentar el rendimiento kilométrico de los neumáticos y por tanto su duración media en un 5 %.
- b. Promover en todos los casos que sea posible el recauchutado de los neumáticos usados. Como mínimo un 20% del tonelaje total.
- c. Reciclaje de los Neumáticos Fuera de Uso mediante la recuperación de sus componentes: Caucho vulcanizado en forma de gránulos y de polvo y acero.
- d. Valorización mediante recuperación energética.

De acuerdo con esto y atendiendo al principio jerárquico 3RVE, se expondrán a continuación las diferentes vías de gestión de neumáticos usados.

2.3.5.1 REDUCCION

La reducción de la generación de neumáticos usados es posible mejorando las prestaciones de los mismos con el fin de aumentar su vida útil. Los fabricantes de neumáticos deben alargar la vida media de los neumáticos a través de mejoras tecnológicas y de diseño que permiten además un menor consumo en la conducción.

El usuario puede igualmente contribuir a aumentar la vida del mismo mediante un mantenimiento adecuado. Los usuarios, apoyados con campañas de sensibilización que deberían financiar los fabricantes, deberían contribuir a alargar la vida del neumático.

Así mismo, deben desarrollarse proyectos de investigación y desarrollo para eliminar tóxicos en la composición del neumático.

2.3.5.2 REUTILIZACION: RECAUCHUTADO

Cabe destacar la importancia en la reutilización de neumáticos a través del recauchutado por utilizar el potencial que aún le queda al neumático gastado. El recauchutado es un proceso que permite reutilizar la carcasa del neumático, al colocar una nueva banda de rodadura, siempre que conserve las cualidades que garanticen su uso. En la actualidad se están poniendo en marcha los Reglamentos de homologación de recauchutado, (R108 para neumáticos de turismo; R109 para neumáticos de camión) que certifican la calidad de las instalaciones y los procesos productivos de las unidades que fabrican los neumáticos recauchutados, con controles y ensayos sobre el producto similares a los exigidos para la homologación de los neumáticos nuevos.

Países como Italia o Dinamarca recauchutan alrededor de un 22% de los NFU que generan. Actualmente se recauchutan en España un 10% (en peso) de los NFU que se producen, el porcentaje es bastante más elevado si se consideran solamente los neumáticos de camión.

El proceso de recauchutado es técnicamente muy complejo.

Atendiendo a la superficie renovada se distinguen tres sistemas:

- **Recauchutado integral**, en el cual se renueva la banda de rodamiento y los flancos (de talón a talón).
- **Recauchutado semi-integral**, en el que se renueva la banda de rodamiento y parte del flanco.
- **Recauchutado sólo de la banda de rodamiento.**

Atendiendo al sistema de adhesión de las nuevas gomas hay dos sistemas:

- **Recauchutados en caliente**, en el cual el proceso de vulcanización se realiza en prensas a una temperatura comprendida entre 150-160°C.
- **Recauchutados en frío**, en el cual la banda de rodamiento está previamente vulcanizada y se adhiere mediante una goma (llamada unión), vulcanizándose en autoclaves a una temperatura entre 98°C y 125°C.

El proceso puede aplicarse una vez para los neumáticos de automóvil, dos veces para los de camioneta y de tres a seis veces para los de camión.

2.3.5.3 RECICLADO

Termólisis

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u a otras actividades.

Trituración mecánica

Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

Trituración criogénica

El tratamiento criogénico utiliza nitrógeno líquido para enfriar el neumático hasta temperaturas de entre -100° C a -150° C, con lo cual el caucho entra en estado vítreo, volviéndose muy frágil y en consecuencia más fácil de triturar. La trituración, bien mecánica o criogénica, genera trozos, partículas o polvo de diferentes tamaños, según las necesidades y el destino que se prevea para los mismos.

2.3.6 VALORACION ENERGETICA

La valoración energética, a diferencia de la incineración, tiene como objetivo extraer el poder calorífico de los residuos con el fin de sustituir parte de los combustibles convencionales. La valorización energética presenta, por tanto, dos ventajas: por un lado, se consigue disminuir la cantidad de residuos, y por otro, permite reducir el consumo de combustibles fósiles. Es evidente, que las industrias que mayor interés presentan por la utilización de este tipo de residuos, como fuente energética, son aquellas con altos consumos de energía tales como las industrias pastero- papeleras, de cemento y las centrales térmicas.

El poder calorífico de los neumáticos es del orden de 35 MJ/Kg, mientras que la madera y el carbón tienen poderes caloríficos de 22 MJ/Kg y 25 MJ/Kg, respectivamente. Por consiguiente, puede afirmarse que se trata de un excelente combustible. Cada neumático utilizado como combustible permite ahorrar entre 10-12 Kg de carbón o bien, 7.51 Kg de petróleo.

Estas fuentes energéticas convencionales (carbón) están sometidas a una moratoria en Europa por motivos relacionados con el vertido de humos a la atmósfera y el riesgo de toxicidad de estos, que en España vence en el año 2014, por lo que habrá que proceder a su reconversión de forma controlada y paulatina.

2.3.7 ELIMINACION

Las principales técnicas de eliminación son el enterramiento sanitario y la incineración.

La incineración es un proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico (valorización energética). Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el monóxido de carbono - Xileno - Hollín - óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono - óxidos de zinc - Benceno - fenoles, dióxido de azufre -

óxidos de plomo, tolueno. Además el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos son solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

2.4 PROCESO INDUSTRIAL PARA EL RECICLAJE DE NFU'S

La primera gran infraestructura de Andalucía dedicada exclusivamente a la recuperación de los componentes básicos de los neumáticos fuera de uso, es la planta de reciclado de neumáticos construida por Reciclado De Neumáticos De Andalucía (*RENEAN*) en Espeluy (Jaen), puesta en marcha en el año 2008.

El proceso industrial está diseñado para obtener la separación de los componentes del neumático (caucho, acero y textil) por procedimientos mecánicos y magnéticos, El proceso industrial está dimensionado para triturar 15.000 Tn /año de neumáticos fuera de uso en tres turnos de trabajo obteniéndose aproximadamente el 65% en peso de caucho, el 30% acero y el 5% textil.

El proceso de transformación del neumático usado en granulado y polvo de goma de alta calidad sigue las siguientes etapas en el proceso industrial:

- Recepción del neumático y almacenamiento.
- Alimentación de neumáticos.
- Troceado mecánico.
- Granulación Principal.
- Granulación intermedia
- Molienda fina
- Embalaje en Big-Bags y almacenamiento

2.4.1 RECEPCION DEL NEUMATICO Y ALMACENAMIENTO

En la zona de almacenamiento, una vez pesados y descargados los neumáticos, éstos son clasificados en función de su tamaño y son conducidos hasta su correspondiente lugar de almacenaje dentro de la planta, donde serán

apilados de forma que se garantice su estabilidad. La zona de almacenamiento dispone del cerramiento adecuado, a fin de proteger los neumáticos usados de las posibles agresiones externas.



Figura 7 Manipulación de neumáticos

2.4.2 ALIMENTACION DE NEUMATICOS EN PLANTA

La maquinaria tiene una capacidad de trituración de neumáticos de 15.000 Tn / año, obteniéndose 9.750 Tn de caucho en diferentes tamaños, 4.500 Tn de acero y 750 Tn de material textil. Estas cantidades pueden variar en función del tipo de neumático que se triture.

2.4.3 ETAPA DE TRITURACION

Mediante una cinta transportadora los neumáticos llegan a la troceadora primaria (Shreader), en la cual son reducidos a trozos de tamaño máximo 8 x 20 cm mediante dos rodillos de cuchillas girando en sentidos contrarios.

2.4.4 ETAPA DE TRITURACION Y GRANULADO PRINCIPAL

Por medio de cinta transportadora estos trozos son conducidos a una trituradora principal (Main Grinder) en la que un juego de dos rodillos de cuchillas giratorios, reduce estas fracciones de neumáticos a tamaño inferior a 20 mm. Este granulado es conducido desde la salida de ésta segunda trituración por medio de cinta transportadora cubierta, donde debido a la labor de un ciclón y la diferencia de densidades comienza la separación del tejido del caucho y por, efecto de un electroimán, la separación del acero.



Figura 8 Manipulación en planta

El acero es depositado en contenedores para su posterior traslado a la industria siderúrgica. El tejido se almacena en otro contenedor.

2.4.5 CLASIFICACION DE PRIMEROS PRODUCTOS Y TERCERA MOLIENDA

Estas fracciones de caucho (que ya han liberado parte de su contenido de tejido y la totalidad del acero), pasan a una tercera fase, donde las fracciones de caucho, de tamaños inferiores a 7 mm, son cribadas y seleccionadas, separando las fracciones mayores de 7 mm.



Figura 9 Molienda en planta



Figura 10 Tamizado en planta

Mediante un equipo de tamizado comienza la clasificación de los granulados envasando en sus tamaños comerciales los inferiores a 4,0 mm. Los tamaños comprendidos entre 4,0 y 7 mm pasan a la siguiente fase del proceso, mientras que las fracciones superiores a 7 mm, son rechazadas y enviadas a una nueva

molienda, donde reducirán por tercera vez su tamaño. Posteriormente éstas fracciones, ya inferiores a 7 mm, serán cribadas y pasarán a la siguiente fase del proceso.

2.4.6 MOLIENDA FINA

Estas fracciones de tamaño máximo 7 mm almacenadas en un silo regulador, son conducidas, por medio de un dosificador a un molino de alta capacidad (Impact Mull), donde se procede a la transformación del caucho en sus fracciones más pequeñas.

Estos molinos giran a alta velocidad y el producto final obtenido tienen un alto contenido en fracciones de 0.0 a 2,0 mm.

El producto clasificado se almacena en los silos correspondientes dispuestos a tal fin bajo el sistema de cribas. Estos productos ya están listos para su comercialización ensacados en Big-Bags. El acero obtenido del proceso industrial es almacenado en contenedores para su comercialización como chatarra. El textil se envasa en Big- Bags para su eliminación.

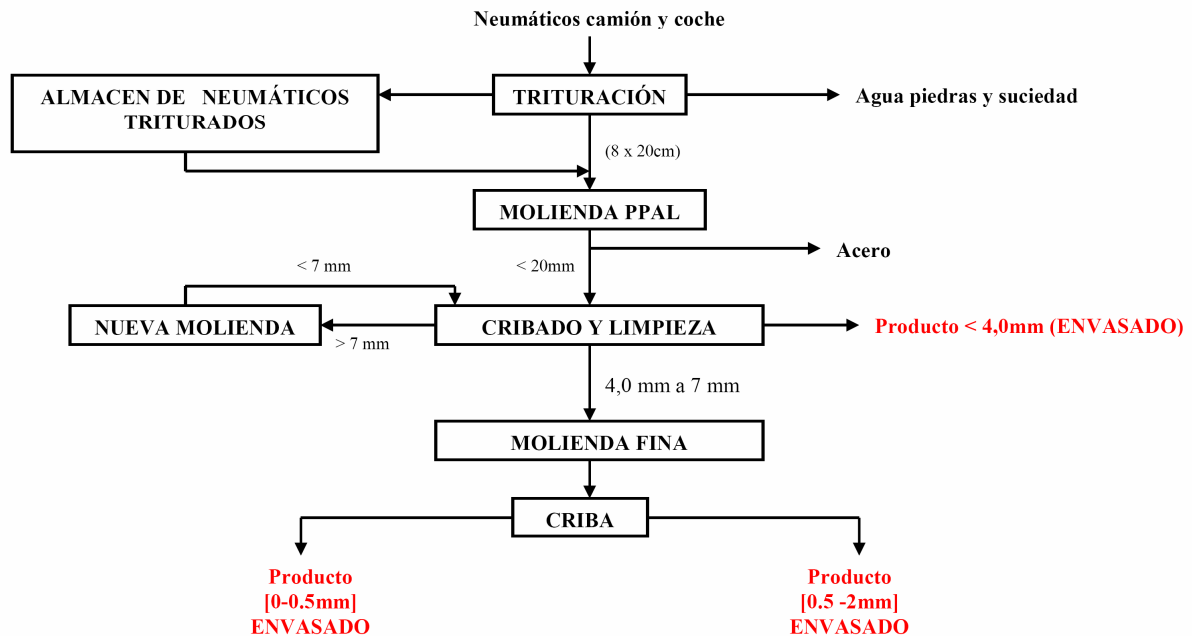


Figura 11 Molienda fina en planta



Figura 12 Almacenaje en planta

ESQUEMA DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA EL RECICLAJE DE NFU'S:



2.5 APLICACIONES DE LOS NEUMATICOS RECICLADOS

Una parte de los NFU's se revenden para su reutilización en países del tercer mundo y otra parte se destinan para ser recauchutados, principalmente los neumáticos de camión, aprovechándose las carcasas originales y banda de rodadura. El resto de los neumáticos usados deberán ser destinados para su valorización enteros o triturados.

Las formas de valorización hasta hoy conocidas son:

- Reutilización de los NFU's enteros o triturados en trozos grandes en obras de ingeniería civil principalmente.
- Como combustibles enteros o triturados en plantas industriales.
- La pirolisis, la gasificación y la termólisis (poco usadas en la actualidad).
- Recuperación de sus componentes: caucho vulcanizado, acero y fibras.

En España, las distintas aplicaciones de los neumáticos fuera de uso, se han subdividido en tres grupos:

- Aplicaciones ya implantadas
- Aplicaciones en fase de desarrollo
- Aplicaciones potenciales todavía no desarrolladas

2.5.1 APLICACIONES IMPLANTADAS

Pavimentos deportivos

Los gránulos de caucho procedentes de la trituración de los neumáticos usados son uno de los componentes básicos en la composición de la mayoría de los pavimentos deportivos y de seguridad, utilizados bien aglomerados con un ligante elástico, o bien como material suelto.

A la hora de proyectar un pavimento deportivo se deben de tener en cuenta factores de seguridad relacionados con la interacción deportista- superficie como la absorción de impactos, la deformación vertical y la fricción, así como en deportes en los que interviene un balón se tendría que considerar la interacción balón-pavimento, como el bote vertical del balón, la rodadura del balón y el bote angular del mismo.

Basándose en estos principios han ido apareciendo en el mercado pavimentos sintéticos adaptados en muchos casos a cada deporte en particular y donde las partículas de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados juegan un papel importante como material básico con excelentes prestaciones.

Pistas multiuso

Las características generales que deben de cumplir los pavimentos deportivos multiuso son elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento, evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas. Las capas elásticas de mejor calidad se fabrican con gránulos de caucho

procedentes de la trituración de neumáticos usados, utilizando generalmente como aglomerante una resina de poliuretano.

La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista en el contacto con el pavimento así como el bote de la pelota, por lo que la textura y calidad de esta capa varían en función de la ubicación de la pista (interior o al aire libre) y de cada deporte.

Lo recomendable es una absorción de la energía al impacto de entre un 15 y un 20%, para la práctica de deporte sin riesgo a sufrir lesiones; esta absorción sólo se puede conseguir mediante la utilización de suelos elásticos, siendo los fabricados a partir de gránulos aglomerados de NFU's los más económicos y los que mejor se comportan.



Figura 13 Pistas multiuso

Pistas de tenis

La práctica del tenis de alta competición es especialmente sensible al tipo de pavimento. El sistema de superficie artificial más aceptado es aquel que está realizado sobre una infraestructura flexible, acabada con una pavimentación asfáltica sobre la que se aplican una serie de capas finas, parte de las cuales tienen como componente principal polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos y que utilizan como aglomerantes resinas acrílicas en emulsión. La combinación de las capas con contenido de caucho y de las capas finales en color con un alto contenido en cargas minerales, permiten realizar revestimientos cómodos para el jugador y donde el bote de la pelota se ajusta al gusto del practicante.

Campos de hierba artificial

Deportes como el rugby, el fútbol y el fútbol americano, ya se vienen practicando sobre superficies de hierba artificial. La hierba artificial consiste en una moqueta cuyas fibras sintéticas imitan a la hierba natural.



Figura 14 Campos de hierba artificial

En rugby y fútbol americano, esta moqueta que se presenta en rollos de 5 m de anchura, se coloca flotante sobre una infraestructura flexible acabada en aglomerado asfáltico preferentemente y se lastra con arena de sílice limpia, seca y calibrada hasta rellenar los 25 mm de altura de las fibras que la componen. Entre la base asfáltica y la moqueta se coloca una base elástica colocada “in situ” a base de gránulos de caucho aglomerados con poliuretano de unos 20 a 30 mm de espesor para dotar a la superficie de una cierta elasticidad.

En el caso del fútbol, las fibras son más largas y pasan de 25 a 60 mm, estando lubricadas para evitar quemaduras y utilizan como material de relleno principalmente gránulos de caucho sueltos, combinados con arena que por su mayor peso específico se sitúa en el fondo sirviendo de lastre del sistema.

Pavimentos de seguridad

Se utilizan fundamentalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos. Se presenta en forma de baldosas prefabricadas o se realizan in

situ y su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano.

Como pavimento de seguridad evita las posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico.

Una variante de los pavimentos de seguridad prefabricados y de aplicación en la seguridad vial en carreteras es el protector de guarda raíles actualmente en fase de desarrollo, modelo patentado en España, de fácil instalación y económico y que puede evitar lesiones por impacto en las caídas de motoristas y ciclistas.

Aislamiento acústico y contra ruido de impacto

La reducción de la transmisión de ruido aéreo y de impacto en los muros y en los forjados de las viviendas es una de las prioridades que se plantea cualquier arquitecto, adquiriendo especial importancia en edificios urbanos donde los ruidos externos son cada vez mayores y de origen más diverso.

El aislamiento al ruido se consigue por diversos métodos y entre los más eficaces se sitúan los materiales compuestos por granulados de caucho que se colocan adheridos entre los ladrillos o en el suelo por debajo del pavimento.

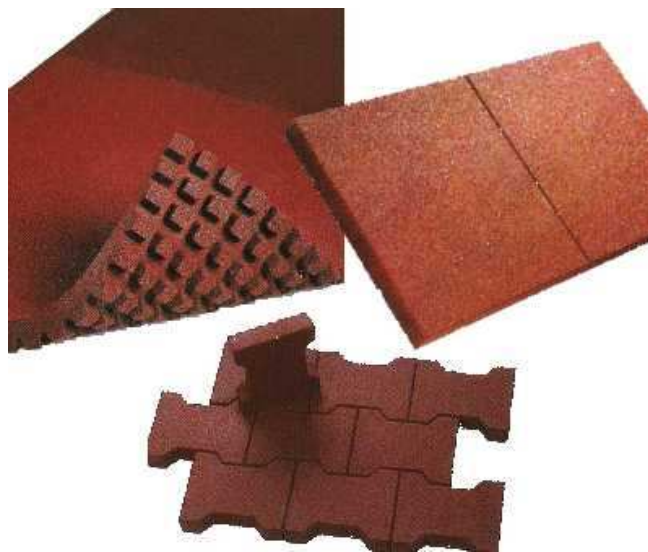


Figura 15 Pavimentos de seguridad

2.5.2 APLICACIONES EN FASE DE DESARROLLO

MEZCLAS BITUMINOSAS MODIFICADAS

Esta es sin duda, la vía más rápida y sencilla de absorber en grandes cantidades el caucho procedente de la trituración de NFU's, sin que necesariamente deba suponer un alto costo, como *agente modificador*, sea de ligantes hidrocarbonatos o en las mezclas bituminosas.

La mezcla se realiza de dos formas, conocidas como la “vía húmeda” y la “vía seca”. (Ver figura 16).

La vía húmeda consiste en incorporar a los betunes de destilación un porcentaje de caucho en polvo que se sitúa entre un 10 y un 20%, mediante sacos vertidos en el interior de la cisterna.

La vía seca incorpora el polvo de caucho directamente al mezclador de la planta asfáltica, no siendo necesaria ningún tipo de instalación especial.

Existen múltiples experiencias en España y Portugal que avalan la calidad de las distintas mezclas obtenidas con “asfalto- Caucho” de NFUs como por ejemplo en un tramo de la SE-30 (circunvalación de Sevilla), Autopista A7 en Valencia.



Figura 16 Incorporación del caucho en la carretera

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 FABRICACIÓN DE LÁMINAS ASFÁLTICAS

Las láminas asfálticas tienen tres componentes principales: armadura, mástico y material de terminación. El proceso de fabricación de láminas asfálticas se basa en el conocido como método de arrastre, según el cual el componente denominado armadura entra en forma de bobina en la cabecera de la máquina y es arrastrado en la línea de fabricación recibiendo el resto de los componentes durante el proceso hasta salir el producto terminado al final de la máquina.

La temperatura de trabajo va de 135 a 220 °C, saliendo el producto terminado en forma de rollos a unos 25 o 30 °C de temperatura.

El mástico es el betún que se utiliza para fabricar las láminas y por naturaleza es un producto impermeable. Se utiliza el betún de destilación que procede de refinerías y que es una fracción de la destilación del petróleo.

Se utiliza un betún que se somete a un proceso de oxidación para mejorar el comportamiento a altas temperaturas, elevando su punto de reblandecimiento hasta los 90 o 100°C. Otro tipo de mástico es el betún que, sin oxidar, se mezcla directamente con polímeros (caucho sintético) para mejorar su elasticidad y resistencia a bajas temperaturas.

Las armaduras aportan resistencia mecánica a las láminas y se utilizan básicamente tres tipos: film de polietileno (PE), fieltro de fibra de vidrio (FV) y fieltro de poliéster (FP), incluso de diferentes tipos y en diversas combinaciones.

El film de polietileno tiene buenas propiedades de elongación pero es sensible al calor. Superado su límite elástico el material no se recupera y presenta una deformación permanente. No resiste bien los daños mecánicos.

La fibra de vidrio es incombustible, por lo que presenta un buen comportamiento al calor pero tiene una baja resistencia a tracción y punzonamiento.

El fieltro de poliéster es la armadura más “sufrida”, presentando muy buen comportamiento a tracción, desgarro y punzonamiento, por lo que es la más recomendable en caso de que la lámina vaya a estar sometida a altas sollicitaciones mecánicas.

El material de terminación tiene dos funciones: antiadherente y autoprotección.

Como material antiadherente de terminación se usa film de polietileno muy fino que se funde con el soplete cuando se coloca la lámina en obra, facilitando la adherencia al soporte. A veces se usa arena muy fina si se utiliza asfalto fundido en caliente como elemento de unión en obra.

Como material de autoprotección, en la cara superior de las láminas que van a quedar vistas a la intemperie colocadas en obra, se utiliza hoja metálica (aluminio o cobre liso o gofrado) o gránulos minerales de pizarra (natural o coloreados).

En el caso de este trabajo se ha utilizado el polvo de neumáticos reciclados (SBR) como aditivo para mejorar la elasticidad y abaratar el coste de producción de las láminas asfálticas.

En el laboratorio de DANOSA hemos realizado ensayos de las materias primas y productos semielaborados (mástico, armaduras y material de terminación) así como del producto terminado (láminas).

Se hacen tres tipos de ensayos: térmicos, mecánicos y de envejecimiento, además de ensayos de composición cuantitativa para determinar la naturaleza de las mezclas, y otros varios.

A continuación, veremos los ensayos y su significado. Posteriormente, los intervalos de valoración de cada parámetro para cada material. Y finalmente, haremos una descripción de cada uno de los métodos de ensayo.

3.2 ENSAYOS REALIZADOS

3.2.1 PENETRACION

Se aplica a materias primas bituminosas y másticos. Es una medida de la dureza del material.

En materias primas bituminosas, permite calcular una formulación adecuada para el mástico.

En másticos, proporciona una idea aproximada del comportamiento posterior de la lámina en plegabilidad a baja temperatura y fluencia.

Así pues, una lámina cuyo mástico tenga penetración inferior a la mínima, muy probablemente no pasará el ensayo de plegabilidad, mientras que otra cuyo mástico tenga penetración superior a la máxima, muy probablemente no pasará el ensayo de fluencia.

3.2.2 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO DE ANILLO Y BOLA

Se aplica a materias primas bituminosas y másticos. Es una medida de la temperatura a la que fluye el material.

En materias primas bituminosas, permite calcular una formulación adecuada para cada mástico.

En másticos, proporciona una idea aproximada del comportamiento posterior de la láminas en fluencia.

Así pues, una lámina cuyo mástico tenga un punto de reblandecimiento inferior al mínimo, muy probablemente no pasará el ensayo de fluencia.

3.2.3 CONTENIDO EN CENIZAS

Se aplica a másticos. Es una medida de su contenido en cargas minerales.

Proporciona una idea aproximada del comportamiento posterior en el resto de las propiedades y en durabilidad de la lámina.

Así pues, una lámina cuyo mástico tenga un contenido en cenizas superior al máximo, probablemente no pasará alguno de los ensayos sobre láminas y su durabilidad será inferior a la media.

3.2.4 DIMENSIONES Y MASA POR UNIDAD DE AREA

Se aplica a láminas. Consiste en la determinación de su longitud, anchura, espesor y masa por unidad de área.

Estos parámetros permiten calcular la cantidad necesaria para cubrir una superficie determinada y con la densidad superficial y espesor de material bituminoso, (garantías de impermeabilidad) requeridos.

Una lámina cuyas dimensiones (longitud, anchura y espesor), no están dentro de las tolerancias, muy probablemente presentará una masa por unidad de área fuera de los márgenes previstos, ya que el control de la masa por unidad de área, se efectúa mediante el control del peso de los rollos.

3.2.5 PLEGABILIDAD

Se aplica a láminas. Verifica estadísticamente la formación de fisuras en una lámina sometida a flexión a cierta temperatura.

Las láminas son frecuentemente sometidas a flexiones más o menos intensas, tanto durante su instalación, (levantado de bordes a soldar), como durante su vida en servicio, (dilataciones y contracciones en zonas angulares).

Así pues, este ensayo es orientativo sobre su durabilidad por fisuración.

3.2.6 RESISTENCIA AL CALOR

Se aplica a láminas.

El ensayo de fluencia, mide el deslizamiento del mástico por efecto del calor, así pues, es orientativo sobre su durabilidad por deformación.

El ensayo de pérdida por calentamiento, mide la cantidad de plastificantes (volátiles) que pierde la lámina por efecto del calor, así pues, es orientativo sobre su durabilidad por resecamiento.

3.2.7 RESISTENCIA A LA TRACCION Y ALARGAMIENTO DE ROTURA

Se aplica a láminas.

El ensayo de resistencia a la tracción, mide la carga máxima que puede soportar una lámina sometida a tracción, así pues, es orientativo sobre su resistencia mecánica.

El ensayo de alargamiento a la rotura, mide el alargamiento a que puede someterse a una lámina antes de que rompa, así pues, es orientativo sobre su deformabilidad mecánica.

Debido a los movimientos de estabilización de la cubierta y a las dilataciones y contracciones térmicas, es de desear que las láminas sean capaces de soportar cargas y de deformarse.

3.2.8 ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Se aplica a láminas. Mide la variación porcentual en las dimensiones de la armadura por efecto del calor, así pues, es orientativo sobre su durabilidad por deformación.

3.2.9 COMPOSICION CUANTITATIVA:

Se aplica a láminas. Consiste en la determinación de las cantidades presentes de plástico, mineral de terminación, hoja metálica, armadura, filler y materia bituminosa.

Proporciona una idea aproximada del comportamiento de la lámina en el resto de los ensayos, y permite detectar defectos de fabricación.

3.2.10 METODOS DE ENSAYO

Una vez vistos los materiales más significativos, y los parámetros más relevantes en cada uno, describiremos a continuación en que consiste el método de ensayo, para determinar dicho parámetro.

Penetración UNE 104-281/1-4

Este ensayo consiste, en medir la penetración en décimas de milímetro de una aguja normalizada, bajo una carga de 100 g. durante 5 s. en un recipiente normalizado conteniendo la muestra a 25 °C.

Para la realización de este ensayo, son necesarios: un penetrómetro, un vástago de 47,5 g, una aguja de 2,5 g, una masa de 50,0 g, un cronómetro que

aprecie 0,1 s, un baño termostático capaz para 25,0 °C, recipientes de $\varnothing = 55$ mm x h= 35 mm y un vaso de 600 cc.

La muestra preparada en su recipiente, debe mantenerse un mínimo de 2 h a 25,0 °C antes de la penetración.

Punto de reblandecimiento de anillo y bola UNE 104-281/1-3

Este ensayo consiste en, determinar la temperatura en °C a la que una bola normalizada atraviesa la masa asfáltica contenida en un anillo normalizado, en un baño de glicerina calentado a velocidad constante de 5 °C/min.(fig. 17)



Figura 17 Anillo y bola

Para la realización de este ensayo, son necesarios: un aparato normalizado de anillo y bola, anillos y bolas normalizados, un vaso de 600 a 800 cc., cualquier dispositivo con potencia suficiente para realizar el calentamiento, un termómetro con precisión de 0,5 °C y glicerina bidestilada.

La muestra preparada, debe mantenerse un mínimo de 15 min a 32 °C antes del comienzo de la calefacción y no deben pasar más de 4 h. hasta la terminación del ensayo.

Contenido en cenizas UNE 104-281/1-7

Este ensayo consiste en calcinar completamente una cantidad conocida de muestra. Y si se sospecha la presencia de carbonatos en la muestra, digerir las cenizas calcinadas con una disolución de carbonato amónico durante 1 h., desecando finalmente a 110 °C.

Para la realización de este ensayo, son necesarios: una balanza analítica, un crisol, un mechero de gas, un horno eléctrico, un desecador, carbonato amónico y una estufa capaz para 110 °C.



Figura 18 Contenido en cenizas

La muestra debe quemarse en el mechero mientras produzca llama, y calcinarse finalmente en el horno a 900 °C., hasta peso constante si no había carbonatos. Cuando haya carbonatos, la desecación en estufa también se llevará a cabo hasta peso constante.

Dimensiones y masa por unidad de área UNE 104-281/6-2

Este ensayo consiste en, extender la muestra sobre una superficie plana y medir con una cinta métrica la longitud; con la otra se medirá la anchura a 1, 2, 3 y 4 m. del extremo, y el espesor se medirá sobre dos probetas transversales de 5 cm. de ancho, cada 10 cm. excluidos los 15 cm. próximos a cada extremo. La masa por unidad de área, se determinará sobre dos probetas cuadradas de 500 x 500 mm., previamente pesadas.

Para la realización de este ensayo son necesarios: una cinta métrica con precisión de 1 cm., otra con precisión de 1 mm., un micrómetro con precisión de 0,05 mm. y una balanza con precisión de 1 g. y una cuchilla.

Las probetas deben obtenerse de cualquier parte del rollo, exceptuando el primer y último metro y a una distancia mayor o igual a 10 cm. de las orillas, (excepto las de espesor).

Plegabilidad UNE 104-281/6-4

Este ensayo tiene por objeto verificar si al menos el 80 % de las probetas dobladas a una temperatura determinada, sobre un mandril de determinado radio de curvatura se rompen o fisuran.

Para realizar este ensayo, son necesarios: un baño termostático con capacidad para alcanzar -15°C con precisión de 1°C , líquido refrigerante adecuado (p.e. n-butanol), mandriles para el doblado y guantes de goma gruesos.(fig 19)

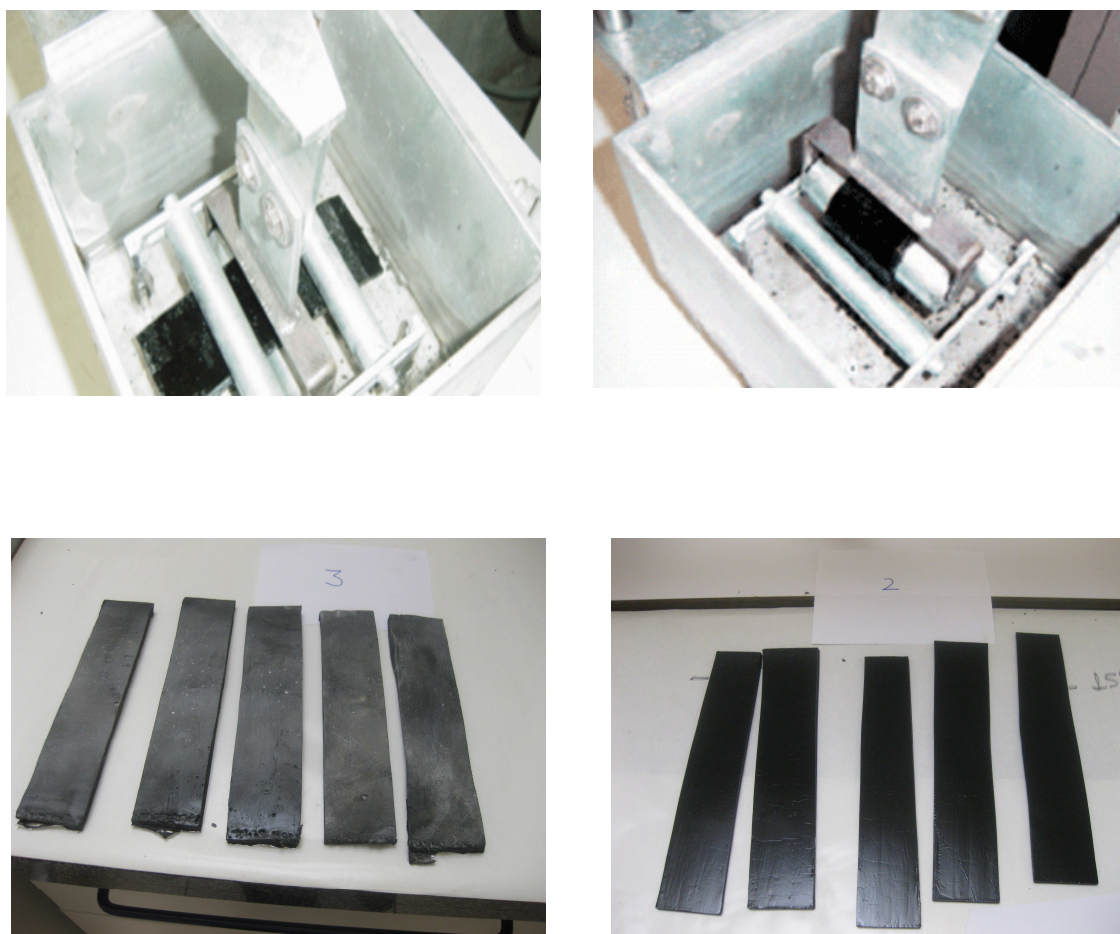


Figura 19 Plegabilidad

Este ensayo se realiza sobre 10 probetas de $10 \times 2,5$ cm., cortadas 5 en dirección longitudinal y otras 5 en dirección transversal, y mantenidas a la temperatura del ensayo al menos 1 h. antes del doblado.

Resistencia al calor UNE 104-281/6-3

Ambos ensayos, se realizan sobre dos probetas colocadas verticalmente en una estufa de aire forzado con termostato, con precisión de 2 °C.



Figura 20 Estufas

Para realizar este ensayo, son necesarios: una estufa como la anterior, un calibre con precisión de 0,1 mm., un cronómetro y una balanza con precisión de 0,01 g.

El ensayo se realiza sobre probetas de 100 x 100 mm. La duración del ensayo es de 2 h.

Resistencia a la tracción y alargamiento de rotura UNE 104-281/6-6

Este ensayo tiene por objeto medir y calcular, respectivamente, los valores de resistencia a la tracción y de alargamiento de rotura, sobre 6 probetas (3 longitudinales y 3 transversales), de dimensiones conocidas (es frecuente el uso de probetas de 300 x 50 mm., con una longitud útil de 200 mm.)

Para realizar este ensayo son necesarios: un dinamómetro con indicación continua de la fuerza, con precisión del 2% y escalas suficientes para que la lectura quede comprendida entre el 15 y el 85 % del fondo de escala. Deberá ser capaz de producir el estiramiento a velocidad constante de 100 ± 10 mm/min. Una cinta métrica con precisión de 1 mm. o registrador gráfico.

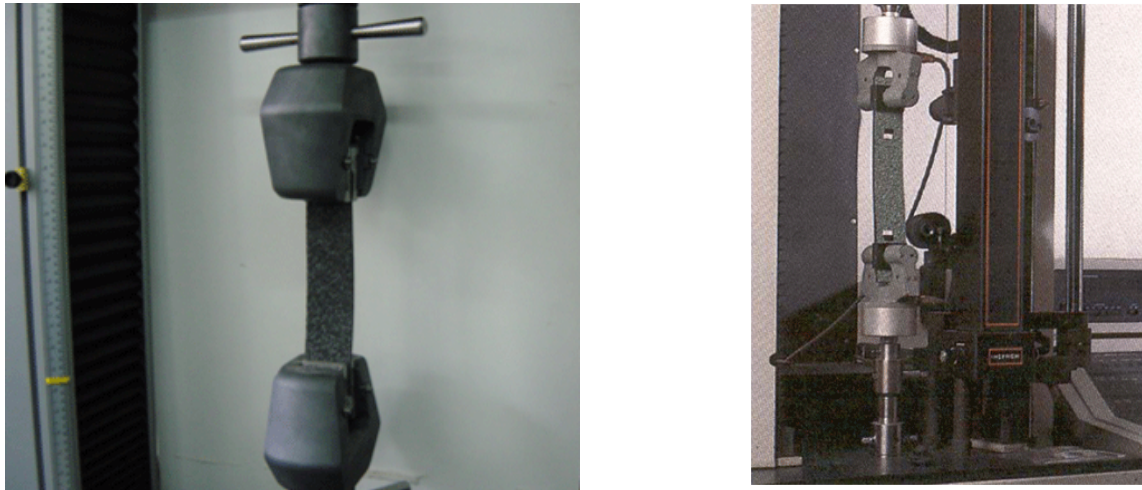


Figura 21 Dinamómetro y mordazas

Los resultados se expresan en N/5 cm. para los valores de resistencia a la tracción y en % para los valores de alargamiento de rotura.

Estabilidad dimensional UNE 104-281/6-7

Este ensayo se realiza sobre 6 probetas (3 longitudinales y 3 transversales), de 400 x 50 mm., mantenidas 2 h. en posición horizontal en una estufa de aire forzado a 80°C.

Para realizar este ensayo son necesarios: una estufa de aire forzado, capaz de mantener 80 ± 2 °C, un calibre con precisión 0,1 mm., un compás metálico fijo de 350 mm. de abertura y 12 placas cuadradas de 20 x 20 mm. de aluminio (entre 0,5 y 0,6 mm. de espesor), con las esquinas cuadradas.(fig. 22)

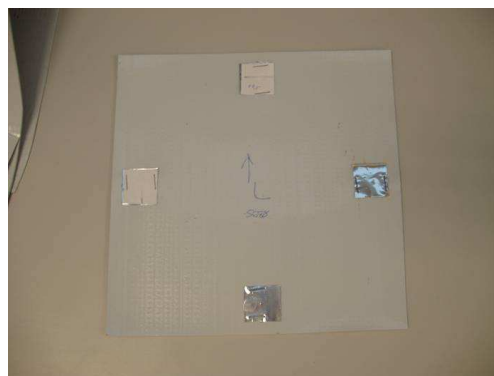


Figura 22 Estabilidad dimensional

Sobre las placas clavadas, - dos por probeta -, de forma que sea posible marcarlas con el compás y queden centradas, se traza, -clavando el compás en una de ellas-, una raya antes y otra después del ensayo, -sobre la otra-, y se mide la separación de las rayas con el calibre.

Composición cuantitativaUNE 104-281/6-8

El ensayo se realiza sobre cuatro probetas de 100 x 100 mm., colocadas en dos cartuchos de extracción e introducidos en el cuerpo del extractor. Se pone el disolvente, se termina de montar el dispositivo de extracción, y se pone en funcionamiento hasta que el disolvente fluya limpio. Se desmonta, se sacan los cartuchos, se dejan secar y se separan y lavan las armaduras y/o la hoja de aluminio, el resto se pasa por el tamiz.



Figura 23 Destilación

Para la realización de este ensayo son necesarios: un extractor Soxhlet de 1000 ml. con matraz de 2000 ml. y refrigerante adecuado; una manta calefactora para el matraz de 2000 ml.; 2 litros de disolvente (Tricloroetileno, sulfuro de carbono, 1, 1, 1 Tricloroetano, ...) de calidad analítica; 2 cartuchos de extracción de celulosa pura de 50 mm. Ø x 125 mm. h, número 800; una balanza analítica; un tamiz de 160 micras, una estufa de aire forzado y un desecador.

3.3 OBTENCION DE LA GRANZA DE SBR

DESCRIPCIÓN, OBTENCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SBR

Se realizan los siguientes ensayos:

- Densidad
- Punto inflamación
- Granulometría

3.3.1 PREPARACION MASAS EN LABORATORIO

Características masas:

- Punto Reblandecimiento anillo-bola
- Penetración a 25°C, 40°C y 60°C
- Contenido en cenizas
- Recuperación elástica
- Plegabilidad
- Envejecimiento térmico a 80°C durante 28 días
- Envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses
- Viscosidad

3.3.2 PREPARACION LAMINAS EN LABORATORIO (FP, FV, AL, PE)

Características de las Láminas:

- Masa media
- Espesor medio
- Fluencia a 100°C
- Pérdida por calentamiento
- Plegabilidad
- Resistencia a la tracción
- Alargamiento a la rotura
- Estabilidad dimensional

- Resistencia al desgarro tipo clavo
- Absorción de agua
- Composición cuantitativa
- Envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses
- Resistencia al punzonamiento dinámico (fig. 24) y estático
- Resistencia al impacto
- Resistencia al pelado de los solapes
- Resistencia a la cizalla de los solapes
- Resistencia al pelado sobre superficies
- Estanqueidad al agua a bajas presiones
- Estanqueidad al agua a altas presiones



Figura 24 Punzonamiento

3.3.3 PREPARACION MASAS Y LÁMINAS EN FABRICACION

Condiciones de mezclado:

- Tiempo de carga
- Temperatura de mezclado
- Velocidad del agitador
- Tiempo de mezclado
- Fillerización

Características masas:

- Punto Reblandecimiento anillo-bola
- Penetración a 25°C, 40°C y 60°C
- Contenido en cenizas
- Recuperación elástica
- Plegabilidad

- Envejecimiento térmico a 80°C durante 28 días
- Envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses
- Viscosidad

Características Láminas:

- Masa media
- Espesor medio
- Fluencia a 100°C
- Pérdida por calentamiento
- Plegabilidad
- Resistencia a la tracción
- Alargamiento a la rotura
- Estabilidad dimensional
- Resistencia al desgarro tipo clavo
- Absorción de agua
- Composición cuantitativa
- Envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses
- Resistencia al punzonamiento estático
- Resistencia al impacto
- Resistencia al pelado de los solapes
- Resistencia a la cizalla de los solapes
- Resistencia al pelado sobre superficies
- Estanqueidad al agua a bajas presiones
- Estanqueidad al agua a altas presiones



Figura 25 Laboratorio



Figura 26 Solapes

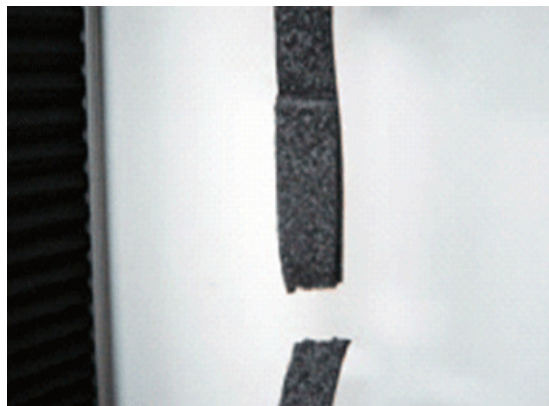


Figura 27 Rotura solapes

Una vez realizados los ensayos de los materiales a emplear, la granza de neumáticos (SBR), las masas asfálticas, las armaduras, etc. para fabricar las láminas impermeabilizantes, se procedió a su producción bajo control interno en la línea y se procedió a colocar el producto fabricado en un campo de prácticas en la fábrica, donde también se hicieron pruebas de soldadura antes de validar los resultados obtenidos en cuanto a las características del producto fabricado.

Posteriormente se sacó el producto a la venta para su puesta en obra de forma convencional, ya que, la utilización del polvo de neumático reciclado en la composición de las láminas no modifica en nada las técnicas de colocación.

3.4 Instalación en cubiertas

Todas las láminas que se fabricaron con SBR en su composición, fueron colocadas por soldadura en cubiertas de diferentes zonas, diferentes climas y en diferentes países (entre ellos España, Francia y Portugal).

En ningún caso se ha reportado problema alguno al instalar las láminas y se ha catalogado su comportamiento, durante la instalación, como normal, es decir, como cualquier lámina impermeabilizante bituminosa.

Algunas de las láminas ya llevan instaladas más de 4 años y tampoco se ha reportado problema alguno. Hay que tener en cuenta que han sido sometidas a ensayos de envejecimiento, con resultados positivos, en ciclos combinados de

500 horas y de 1000 horas. En estos ensayos las probetas se someten a unas condiciones que tratan de reproducir en laboratorio las condiciones a las que estará la lámina de exposición al sol y la lluvia mediante lámparas de rayos UV y riego por condensación. Estos ciclos corresponden al equivalente de estar la lámina expuesta a la intemperie durante 5 y 10 años respectivamente.

4 ANALISIS DE RESULTADOS

La granza de SBR utilizada en esta investigación es un caucho de estireno-butadieno procedente de los neumáticos usados de los coches, camiones y tractores.

Esta granza se ha obtenido tras el proceso de reciclado de los neumáticos y su adecuada selección en función de las características del producto a fabricar con su incorporación.



Figura 28 Vertedero incontrolado

Por regla general la Composición Química de un neumático la vemos en la siguiente tabla:

<u>COMPUESTO</u>	<u>% EN PESO</u>
Carbono	70 - 83
Hidrógeno	5,0 - 7,5
Azufre	1,2 - 1,9
Cloro	0,1 - 0,8
Oxígeno	5,0
Nitrógeno	1,5
Oxido de Zinc	1,2 - 2,7
Hierro	5,0 - 15,0
Residuo	5,0 - 5,7

Tabla 2 Composición química del neumático

La composición de un neumático con relación a su masa total es:

<u>COMPUESTO</u>	<u>%</u>
Caucho Natural ó Sintético	48
Negro de Humo	23
Cable de Acero	18
Bandas Textiles	3
Otros Productos Químicos	8

Tabla 3 Composición en masa

En la actualidad hay dos procesos para la obtención de la granza de SBR a partir de lo neumáticos.

Los neumáticos viejos se llevan a vertederos ó almacenes donde en una primera fase se clasifican y una pequeña cantidad, aproximadamente el 7%, se vuelve a utilizar como neumático y el resto se pasa a un proceso mecánico ó a un proceso de criogenización.

En estos procesos se desguaza el neumático y se obtienen fibras textiles (aproximadamente el 7,5%), acero (aproximadamente el 23,3%) y el resto es la granza de caucho.



Figura 29 Almacén sin control

El proceso de criogenización consiste, de forma general y resumida, en las siguientes etapas:

1º - Recogida de los neumáticos: En esta fase, los talleres de neumáticos, ó los particulares, entregan los neumáticos en la fábrica donde van a ser procesados.

2º - Destalonamiento del neumático: En este proceso se quita el anillo de acero que lleva el neumático. Este proceso es mecánico y es necesario para quitar el anillo metálico el cual es “grueso” y podría dar problemas en las siguientes fases del proceso global.

3º - Separación de las fibras

4º - Corte de los neumáticos: En este proceso se corta el neumático en trozos más ó menos grandes.

5º - Criogenización y molienda: En este proceso los trozos de neumático se introducen en un molino de martillos y mediante nitrógeno líquido se enfrían los trozos de neumático a -193°C y seguidamente se muele. Al golpear los martillos sobre los trozos criogenizados, éstos se rompen en trozos más pequeños de tal forma que cuanto más tiempo esté funcionando el molino más pequeños serán los trozos de neumático llegándose a tamaños inferiores a 75 micras.

6º - Secado del material molido: En este proceso el material molido pasa por un horno en el que se le quita la humedad. Durante el proceso de molienda, la granza obtenida coge humedad y esta humedad hay que quitarla para poder seguir con el proceso.

7º - Separación del acero: Una vez que se ha secado la granza se hace pasar, por medio de una cinta transportadora, a través de un campo magnético (imán) en el cual se separa toda la parte metálica que va en la granza quedando retenido el metal en esa zona.

8º - Tamizado y separación por tamaño de partícula: En este proceso se separa la granza obtenida en función del tamaño de partícula. Para ello, y por medio de la cinta transportadora, se hace pasar la granza libre de partes metálicas por unos tamizadores de luz de malla conocida de tal forma que la granza cae sobre el primer tamiz que es el de mayor tamaño. Por vibración, la granza pasa por ese tamiz al siguiente y así sucesivamente va pasando por diferentes tamices y separándose por tamaños.

El proceso mecánico consiste, de forma general y resumida, en las siguientes etapas:

- 1º - Recogida de los neumáticos
- 2º - Destalonamiento del neumático
- 3º - Separación de las fibras
- 4º - Corte de los neumáticos: En este proceso se estira y se corta el neumático hasta el tamaño de partícula que se desee.

Al principio de la investigación pensábamos que la granza de SBR obtenida por medios mecánicos estaría degradada debido al calor producido durante el cizallamiento y troceado del producto y por tanto, pensábamos que deberíamos utilizar sólo la obtenida por criogenización.

Después de algunas pruebas, masas, que hicimos vimos que estábamos equivocados y que eran prácticamente iguales, en cuanto al resultado, las granzas obtenidas por criogenización ó por medios mecánicos.

La granza que finalmente decidimos utilizar fue una obtenida por medios mecánicos siendo sus características principales las siguientes:

TAMAÑO, T	630 μ <T	630 μ >T T>400 μ	400 μ >T T>250 μ	250 μ >T T>100 μ	100 μ >T T>80 μ	80 μ >T T>40 μ	40 > T
%	2,53	6,69	48,67	37,17	3,87	1,07	0,0

Tabla 4 Tamaño de granza

PUNTO DE INFLAMACIÓN (vaso abierto):

- SBR : 181°C
- SBR + BETÚN : >265°C

DENSIDAD (aparente)= 372 kg/m³

4.1 MASAS EN LABORATORIO

Se empezó la investigación con una granza de SBR obtenida por medios mecánicos. Esta granza tenía un tamaño de partícula de 600 μ .

Las masas que se hicieron fueron con dos tipos de betunes, uno aromático (R-27) y otro menos aromático (150/200 BP).

Las formulaciones que se hicieron y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

COMPOSICIÓN	A	B	C	D	E	F
% R-27	44,0	54,5	54,5	52,2	53,0	--
% 150/200 BP	--	--	--	--	--	53,0
% SBS TIPO 412	--	7,1	5,0	2,0	4,0	4,0
% SBS 6320	--	0,4	--	--	--	--
% SBR	25,0	10,0	10,0	15,4	12,0	12,0
% FILLER	31,0	28,0	30,5	30,4	31,0	31,0
P.Rebland., °C	Todo el betún fue absorbido por el caucho	137	130	98	122	127
Penetrac. a 25°C, dmm		31	15	62	32	24
Penetrac. a 40°C, dmm		--	44	--	61	52
Penetrac. a 60°C, dmm		--	88	--	107	94
Plegabilidad, °C		-25°	-25°	-20°	-25°	-25°
Espesor probeta, mm		6,0	6,0	5,0	4,5	4,5
% CENIZAS	--	31,6	31,3	31,7	31,3	31,4

Tabla 5 Masas de laboratorio

Las fórmulas E y F dan un resultado muy bueno y parecen mejorar la susceptibilidad térmica. Estas dos formulaciones, con los dos tipos de betún, se sometieron a envejecimiento térmico durante **28 días a 80°C**. Junto con ellas se puso una masa patrón de betún-SBS.

El ensayo normalizado consiste en meter las probetas preparadas en una estufa a 80°C durante 28 días para comprobar su comportamiento.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	P. Rebl., °C		Plegabilidad, °C		PENETRACIÓN					
					25°C		40°C		60°C	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Masa E	122	121	-25	-10	32	22	61	54	107	99
Masa F	127	123	-20 (2)	-10	24	24	52	51	94	76
Masa Patrón	134	130	-25 (2)	-20	29	26	58	54	99	100

Tabla 6 Masas E y F envejecidas laboratorio

Como estos resultados son buenos, decidimos hacer una masa para estudiar su envejecimiento a 70°C durante seis meses.

La masa y sus características son las siguientes:

	%
Betún R-27	54,0
SBS 412	5,0
SBR	10,0
FILLER	31,0
	100

Tabla 7 Formulación

La mezcla se preparó añadiendo juntos el SBS y SBR, con una temperatura de mezclado de 180°C - 190°C.

La mezcla obtenida daba las siguientes características:

P. Reblandecimiento Anillo-Bola °C	Penetración a 25°C dmm	Penetración a 40°C dmm	Penetración a 60°C dmm	Plegabilidad
130	24	44	74	(+) a -25°C

Tabla 8 Características

El tiempo empleado en la preparación de la mezcla fue el mismo que se emplea cuando se utiliza el SBS.

La recuperación elástica de esta masa sin filler fue del 90,3% y con filler fue del 80%.

Se puso en envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses dando los siguientes resultados:

TIEMPO	VALORES	2	4	6
CARACTERÍSTICAS	INICIALES	MESES	MESES	MESES
<u>ROTURA POR PLEGABILIDAD</u>				
en °C Positivo a.....	-25°C	-20°C (1)	-10	-5
Negativo a.....		-25°C (4)	-15 (4)	-10
Espesor, mm....	4,5	5,0	5,0	5,1
Punto Reblandecimiento, °C	130	130	127	125
Penetración a 25°C	24	9	8	22
a 40°C	44	39	36	44
a 60°C	74	62	64	79

Tabla 9 Características

El ensayo de penetración a diferentes temperaturas se repitió dos veces al ver los valores que salían y estas repeticiones confirmaron los valores que se dan en el informe.

La penetración, es decir, la dureza de la masa no ha sufrido apenas variación al cabo de los seis meses.

En los cuatro primeros meses sufrió una variación un poco mayor pero luego parece haberse recuperado sobre todo a 25°C.

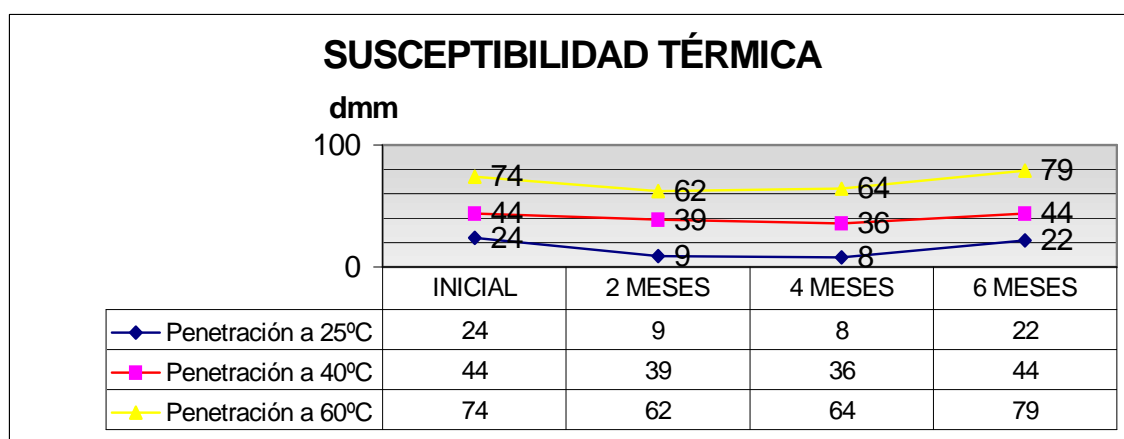


Gráfico 3 Susceptibilidad térmica

Esta variación en la dureza, susceptibilidad térmica de la masa, se ve confirmada por el hecho de que el punto de reblandecimiento apenas varía en los seis meses de envejecimiento, sólo varía 5°C.

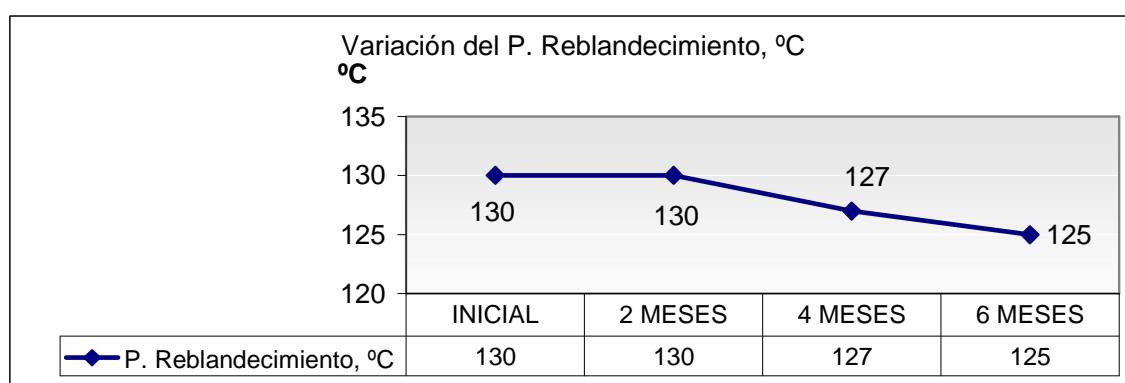


Gráfico 4 Punto de reblandecimiento

Como vemos el envejecimiento a 70°C durante seis meses ha sido plenamente positivo e incluso mejor que en el caso de las masas que sólo tienen SBS como polímero modificador.

A partir de esta formulación se hacen nuevas pruebas y formulaciones con una granza de menor tamaño. Escogimos una granza obtenida por medios mecánicos y con un tamaño de 400 µ.

Las formulaciones que se hicieron fueron variando el contenido de SBS y de SBR y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Si por cada 1% de SBS que disminuimos en la fórmula ponemos un 2% más de SBR, se mantienen las características dando un resultado similar excepto en el punto de reblandecimiento, que disminuye un poco, y en la viscosidad que también disminuye.

COMPOSICIÓN	MASA 1	MASA 2	MASA 3
% R-27	54,0	53,0	52,0
% SBS	5,0	4,0	3,0
% SBR	10,0	12,0	14,0
% FILLER	31,0	31,0	31,0
P.Rebland., °C	133	123	125
Penetrac. a 25°C, dmm	28	24	31
Penetrac. a 40°C, dmm	49	54	54
Penetrac. a 60°C, dmm	99	99	99
Plegabilidad, °C	-25°	-25°	-25°
Espesor probeta, mm	3,7	4,1	4,5
Viscosidad (a 180°C, RT 11, 100 rpm), cps	128.200	74.000	98.300

Tabla 10 Punto de reblandecimiento

siguiente paso fue ver que ocurre cuando utilizamos menos contenido de SBR y dejamos fijo el contenido de SBS.

COMPOSICIÓN	MASA 4	MASA 5	MASA 6	MASA 7	MASA 8
% R-27	59,0	57,0	56,0	56,0	59,0
% SBS	5,0	5,0	5,0	6,0	4,0
%Caucho Tritur.	5,0	7,0	8,0	7,0	6,0
% FILLER	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
P.Rebland., °C	122	134	137	141	120
Penetrac. a 25°C, dmm	22	29	20	25	24
Penetrac. a 40°C, dmm	49	66	66	56	50
Penetrac. a 60°C, dmm	116	125	124	98	129
Plegabilidad, °C	-20°	-15°	-20°	-25°	-10
Espesor probeta, mm	5,0	4,0	3,5	4,5	4,1
Viscosidad (a 180°C, RT 11, 100 rpm), cps	9.500	28.600	43.400	43.300	10.000

Tabla 11 Variaciones en formulación

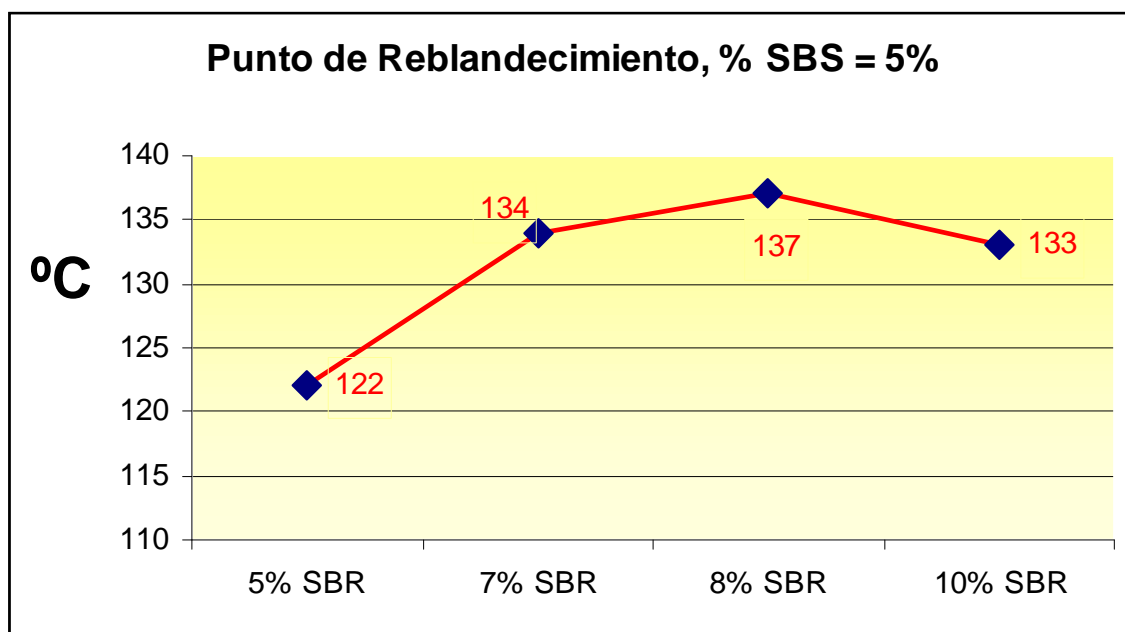


Gráfico 5 Punto de reblandecimiento

En el punto de reblandecimiento observamos que aumenta a medida que aumenta el contenido en SBR, siendo constante el contenido de SBS, pero llega un momento que no influye el aumento de SBR.

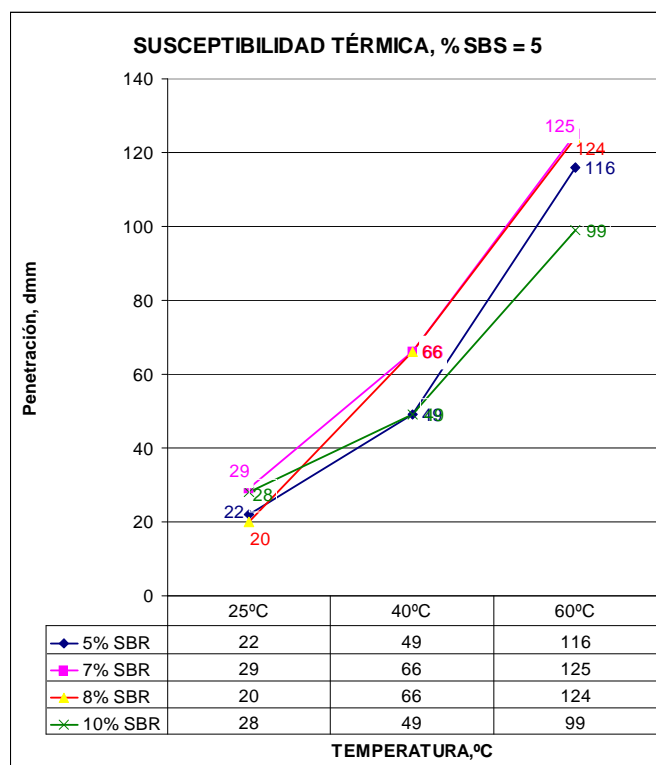


Gráfico 6

Ensayo de penetración:

Se prepararon varias muestras con distintos % de SBR en la formulación.

Se sometieron a distintas temperaturas (25°C, 40°C y 60°C)

Si observamos la variación de la penetración en función del contenido de SBR, dejando constante el contenido de SBS, vemos que la Susceptibilidad Térmica no varía apenas a medida que aumentamos el contenido de SBR excepto cuando añadimos un 10% de SBR en cuyo caso sí se observa una disminución apreciable en la pendiente de la gráfica.

Para ver la influencia del proceso de origen de la granza de SBR se empezó a estudiar una cuyo origen era criogénico. El tamaño de la granza estaba comprendido entre 350 μ y 450 μ .

La formulación y las características de las masas resultantes fueron las siguientes:

COMPOSICIÓN	300-450 μ
% R-27	54,0
% SBS	5,0
% SBR	10,0
% FILLER	31,0
P.Rebland., °C	127
Penetrac. a 25°C, dmm	30
Penetrac. a 40°C, dmm	59
Penetrac. a 60°C, dmm	105
Plegabilidad, °C	-20°
Espesor, mm	5,0
Viscosidad (a 180°C, RT 11, 100 rpm), cps	30.500

Tabla 12 Formulación y características

Como vemos los resultados son muy similares a los obtenidos con la granza de SBR procedente del tratamiento mecánico. Los valores de penetración salen un poco más altos pero esto puede ser debido a la diferencia de dureza en el betún.

Seguidamente se hizo un estudio para ver la influencia del tamaño de la granza de SBR dando los siguientes resultados:

COMPOSICIÓN	75-150 μ	150-300 μ	300-450 μ	450-600 μ	600-750 μ	750-900 μ
% R-27	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0
% SBS	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% SBR	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
% FILLER	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
P.Rebland., °C	123	129	127	124	119	No se incorpora bien. Queda la mayoría sin disolver
Penetrac. a 25°C, dmm	34	30	30	31	33	
Penetrac. a 40°C, dmm	70	69	59	60	63	
Penetrac. a 60°C, dmm	140	133	105	110	118	
Plegabilidad, °C	-20°	-20°	-20°	-25°	-20°	Queda la mayoría sin disolver
Espesor, mm	5,2	5,0	5,0	4,0	4,6	
Viscosidad (a 180°C, RT 11, 100 rpm), cps	22.700	38.800	30.500	28.800	28.700	

Tabla 13 Variaciones

Como se observa en los resultados el tamaño de la granza sí influye en las propiedades de la masa.

El tamaño de granza ideal, en función de la susceptibilidad térmica, sería el comprendido entre 300 y 450 μ como se puede observar en la gráfica adjunta.

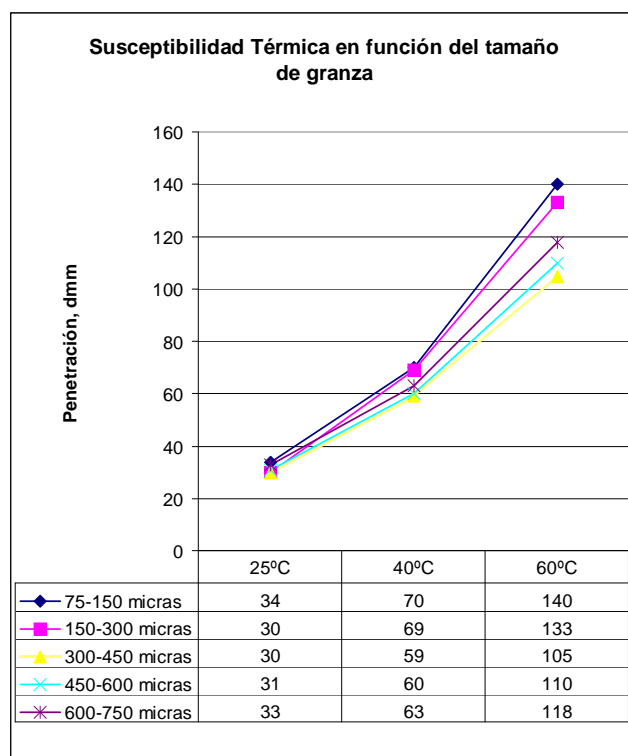


Gráfico 7 Granza (micras)

Determinación de la susceptibilidad térmica de la masa.

Se prepararon varias muestras con distinto tamaño de granza de SBR en la formulación.

Se sometieron a distintas temperaturas (25°C, 40°C y 60°C)

En cuanto al punto de reblandecimiento, para una concentración constante de SBS, 5%, y de SBR, 10%, se obtienen unos valores máximos del punto de reblandecimiento cuando el tamaño de la granza de SBR está comprendido entre 300 y 450 μ . (129°C y 127°C).

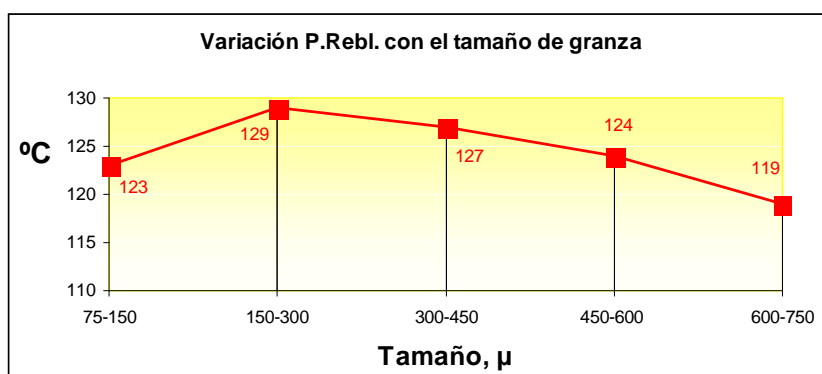


Gráfico 8 Punto reblandecimiento

Después de todas estas pruebas, decidimos que el tamaño de granza “ideal” para fabricar es el de 400 μ de tamaño medio.

4.2 LAMINAS EN LABORATORIO (FP, FV, AL, PE)

En un principio habíamos decidido preparar en laboratorio láminas con todas las armaduras y determinar todas sus características.

Luego, como ya teníamos determinada la formulación y las características de la masa, decidimos comprobar únicamente las propiedades de adhesión de la masa y la preparación de láminas hacerla en fábrica y en laboratorio preparar sólo una lámina acabada en aluminio que nos permitiera determinar las propiedades de adhesión.

Los ensayos que realizamos para ver la adhesión fueron los siguientes:

4.3 ENSAYO DE PELADO LAMINA-SOPORTE (UNE 104-481)

Este ensayo consiste en verificar la adhesión de la lámina impermeabilizante a un soporte.

El soporte que se utilizó fue una placa compuesta de cemento - celulosa. Como imprimación se utilizó una emulsión asfáltica.

Se preparó la masa sobre aluminio para que éste hiciera de armadura.

Se cortaron probetas de 300 mm x 50 mm y se soldaron al fibrocemento previamente imprimado.

Se dejan 50 mm sin soldar para que sirva de agarre a la mordaza del dinamómetro.

La velocidad de tracción es de 100 mm/min.

Los resultados obtenidos fueron:

PROBETA Nº	1	2	3	4	5	VALOR MEDIO
FUERZA (N)	234	241	255	264	212	241

Tabla 14 Resistencia al pelado lámina-soporte

4.4 ENSAYO CIZALLAMIENTO SOLAPE (UN-EN 12317-1)

Se hizo un solape de 10 cm con la misma lámina que en el ensayo anterior.

Se cortaron probetas de 300 mm x 50 mm .

La velocidad de tracción es de 100 mm/min.

Muestra para ensayo:



Los resultados obtenidos fueron:

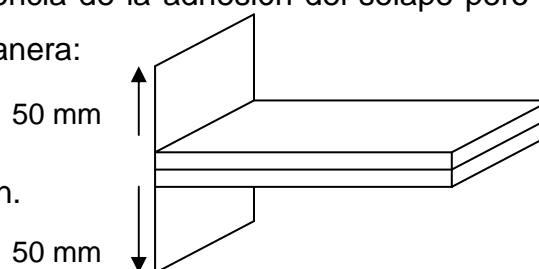
PROBETA Nº	1	2	3	4	5	VALOR MEDIO
FUERZA (N)	250	265	221	243	257	247

Tabla 15 Resistencia a cizalla

En todos los casos rompió el aluminio antes de despegar el solape.

4.5 ENSAYO PELADO DEL SOLAPE (UNE EN 12316-1)

Pelado del solape es determinar la resistencia de la adhesión del solape pero tipo "pantalón", es decir, de la siguiente manera:



La velocidad de tracción es de 100 mm/min.

La distancia entre mordazas es de 100 mm

PROBETA Nº	1	2	3	4	5	VALOR MEDIO
FUERZA (N)	50	55	45	43	53	49

Tabla 16. Resistencia al pelado del solape

Estos resultados son semejantes a los que se obtienen con las masas de betón-SBS.

4.6 PREPARACION MASAS Y LAMINAS EN FABRICACION

Una vez que estuvimos convencidos de que la utilización de SBR era factible decidimos empezar con las fabricaciones experimentales para poder ver no sólo los productos resultantes, sino también, los posibles inconvenientes durante la fabricación.

Se hace una fabricación experimental de las láminas ESTERDAN 40 P ELASTÓMERO y GLASDAN 40/GP ELASTÓMERO utilizando caucho recuperado de neumático.

El caucho empleado de 400 μ proviene de la obtención a partir de neumáticos de camión y tractores por tratamiento mecánico de molienda y no el criogénico.

La formulación del mástico fue la siguiente:

<u>MATERIA PRIMA</u>	<u>%</u>	<u>Kg</u>
BETÚN R-27	56,0	3.213
SBS	5,0	287
SBR (400 μ)	8,0	459
FILLER CALIZO	31,0	1.779

Tabla 17 Formulación masas

4.7 FABRICACION DEL MASTICO

Consta de dos etapas:

- 1ª) Mezclado del betún, el SBS y el caucho recuperado.
- 2ª) Fillerización del mástico obtenido.

1ª) La mezcla se hizo en uno de los mezcladores de SBS y primero se cargó el betún a 170°C y seguidamente se cargó el SBS. Se tuvo agitando durante ochenta (80) minutos y se añadió el caucho recuperado por la boca de hombre del mezclador.

Se tuvo agitando durante quince minutos y se sacó una muestra del mástico resultante.

Las características de este mástico sin filler son:

- Punto de Reblandecimiento anillo-bola: 140°C
- Penetración a 25°C: 38 dmm
- Viscosidad a 180°C, 100 r.p.m., RT 11: 14.100 c.p.s.
- Recuperación elástica: 91,3 %

Aunque la viscosidad de la masa es más alta que la de las mezclas tradicionales, el agitador del mezclador no tuvo ningún problema al hacer la masa.

El único inconveniente que se nos ha presentado en esta fase de fabricación ha sido el desprendimiento de olor un poco penetrante e irritante debido al azufre que contiene el caucho vulcanizado, concretamente al compuesto difenil-sulfuro (C_6H_5)₂S el cual tiene un umbral de olor de 0,0021-0,0047 ppm.

El paso del mezclador al fillerizador se hizo bien y en el tiempo normal, sin ningún inconveniente.

2ª) El proceso de fillerización se desarrolló de forma normal y no hubo ningún inconveniente.

El mástico resultante tuvo las siguientes características:

- Punto de Reblandecimiento anillo-bola: 138°C
- Penetración a 25°C: 29 dmm
- Penetración a 40°C: 54 dmm
- Penetración a 60°C: 94 dmm
- % Filler: 31,4
- Plegabilidad: Positiva a -25°C (se comprobó posteriormente al fabricar las láminas, en ambos casos dio este resultado)

4.8 RESULTADOS

FABRICACIÓN DE LAS LÁMINAS:

En esta fase el primer inconveniente con el que nos encontramos es el mucho tiempo (el doble de lo normal) que tarda el mástico bituminoso desde el fillerizador hasta el depósito de la línea de fabricación.

Con el mástico fillerizado se fabricaron las siguientes láminas:

- LBM 40 FP (nombre comercial ESTERDAN 40 P ELASTÓMERO)
- LBM 40 G/FV (nombre comercial GLASDAN 40/ GP ELASTÓMERO BLANCO)

La fabricación de estas láminas se hizo a las temperaturas y a las velocidades normales, y no presentó ningún inconveniente.

En esta fase el olor fue mucho menor que en el caso de la fabricación del mástico y se concentraba principalmente en la zona de la balsa del mástico.

El aspecto de las láminas fue el normal y las características de las láminas fueron las de la tabla siguiente (Tabla 18).

			G40/GPE B	E 40 PE
Masa media, kg/m²			4,40	4,20
Espesor medio, mm			3,52	3,32
Plegabilidad, °C			Positiva a –25°C	Positiva a –25°C
Fluencia a 100°C			Positiva (0 mm)	Positiva (0 mm)
Pérdida por calentamiento, %			0,03	0,03
Resistencia a la tracción, N/5cm				
Longitudinal			377	867
Transversal			298	477
Alargamiento a la rotura, %				
Longitudinal			--	29,6
Transversal			--	41,7
Estabilidad dimensional, % (UNE-EN1107-1)				
Longitudinal			--	-0.23
COMPOSICION CUANTITATIVA				
Peso medio, kg/m²			4,423	4,072
Aglomerante bituminoso, kg/m²			1,845	2,567
Revestimiento bituminoso, kg/m²			2,830	3,832
Armadura nº1, kg/m²			0,083	0,182
Armadura nº2, kg/m²			--	--
Plástico terminación, kg/m²			0,010	0,024
Gránulos minerales, kg/m²			1,400	--
Arenas, kg/m²			--	--
Absorción de H₂O, %			--	0,22
Cepillado	Seco	Longitudinal	16,5	--
		Transversal	21,4	--
	Húmedo	Longitudinal	33,5	--
		Transversal	33,9	--
Punzonamiento estático		Rígida	L1	L4
		Flexible	L1	L4
Resistencia al impacto			(+) punzón 20 mm	(+) punzón 10 mm
Resistencia a la Cizalla del solape, N			233	473
Resistencia al pelado de los solapes, N			60	48
Resistencia al pelado sobre superficies (fibrocemento), N			--	187
Estanqueidad al agua a bajas presiones, kPa			Positivo a 60 kPa	--
Estanqueidad al agua a altas presiones, kPa			--	Positivo a 200 kPa
Comportamiento a la llama: Normal. Al soldar, en laboratorio, los solapes no hubo olores irritantes ni intensos.				

Tabla 18 Características

Todos los resultados son buenos y vemos que en algunos el resultado va en función de la armadura como es el caso de la resistencia a la tracción, Alargamiento a rotura, Estabilidad dimensional, Punzonamiento estático, Resistencia al impacto y la estanqueidad al agua.

Como la masa es la misma para ambos, decidimos poner a envejecimiento térmico el GLASDAN 40/GPE BLANCO. El envejecimiento térmico se hizo a 70°C durante seis meses dando los siguientes resultados (Tabla 19):

ENVEJECIMIENTO	PLEGABILIDAD, °C				RESISTENCIA AL CALOR, °C, mm			
	INICIO	2º Mes	4º Mes	6º Mes	INICIO	2º Mes	4º Mes	6º Mes
T-70°C	-25	-15	-10	-10	110	110	110	110

Tabla 19 Envejecimiento G40/GPE B

Como vemos, el resultado es positivo.

Debido a la alta viscosidad de la fórmula anterior, se decidió ajustar la fórmula a una viscosidad más baja para que el traslado del fillerizador a los depósitos de las líneas fuera más rápido.

Se decidió hacer entonces la siguiente formulación:

MATERIA PRIMA	%	Kg
REDASPOL-27	48,8	3.071
SBS	4,4	277
SBR	6,8	428
FILLER	40	2.518
TOTAL:	100	6.294

Tabla 20 Formulación

Con esta formulación ya se habían hecho en 2003 varias fabricaciones, con diferente contenido en filler, se prepararon muestras y se hicieron ensayos de punto de reblandecimiento (anillo y bola), penetración, contenido en cenizas y viscosidad.

Se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a las características del mástico:

FECHA	LÁMINA	P. Rebl. °C	Penetración, dmm			CENIZAS %	VISCOSIDAD, cps (180°C, 100 RPM)
			25° C	40° C	60°C		
05/06/03	E40/GPE	126	34	66	114	24,1	--
13/06/03	E40/GPE	129	16	52	100	32,3	--
13/06/03	E40/GPE	130	21	56	101	34,3	--
17/06/03	E 40 PE	127	25	63	118	28,2	--
19/06/03	EMON/GPE	135	20	51	96	34,8	--
26/06/03	EMON/GPE	134	21	54	97	31,1	--
08/07/03	G40/GPE	126	15	50	115	27,2	20.700
17/07/03	EMON/GPE	129	23	54	105	28,7	--
31/07/03	EMON/GPE	135	28	59	96	35,5	23.400
MÁXIMO		135	34	66	118	37,3	23.400
MÍNIMO		126	15	50	96	24,1	20.700
MEDIO		130	24	57	106	31,0	22.050

Tabla 21 Características del mástico

Se observa que en esta formulación, con menos SBR, ha bajado el punto de reblandecimiento y la penetración ha aumentado sobre todo a 60°C.

De todas estas láminas se hicieron los controles normales dando un resultado positivo, así por ejemplo la plegabilidad fue positiva, en todos los casos, a – 20°C. Al final del trabajo se dan todos los resultados obtenidos en las láminas fabricadas.

La lámina E 40 PE, fabricada el 25/03/03, se sometió a envejecimiento térmico y dio los siguientes resultados:

ENVEJECIMIENTO	PLEGABILIDAD, °C				RESISTENCIA AL CALOR, °C, mm			
	INICIO	2º Mes	4º Mes	6º Mes	INICIO	2º Mes	4º Mes	6º Mes
T -70°C	-25	-20	-20	-15	110	110	110	110

Tabla 22 Envejecimiento E 40PE

El resultado del envejecimiento fue muy bueno.

Como la viscosidad seguía estando un poco alta y se tardaba bastante en pasar el mástico bituminoso del fillerizador a los depósitos de las líneas, se decidió ajustar un poco más la formulación:

MATERIA PRIMA	%	Kg
BETÚN	57,5	4.500
SBS	5	391
SBR	6,5	509
FILLER	31	2.426
TOTAL	100,00	7.826

Tabla 23 Formulación

Se hicieron ensayos de los productos almacenados fabricados con esta fórmula dando los siguientes resultados:

FECHA	LÁMINA	P. Rebl. °C	Penetración, dmm			CENIZAS %	VISCOSIDAD, cps (180°C, 100 RPM)
			25° C	40° C	60°C		
06/08/03	EMON/G PE	128	33	71	120	25,5	15.100
06/08/03	E40/GPE	124	33	71	118	25,6	
06/08/03	E40/GPE	116	35	73	121	25,3	
28/08/03	E40/GPE	134	31	61	111	31,9	11.600
10/09/03	EP40/GP	126	32	69	128	29,8	
11/09/03	E 40 PE	126	32	70	132	32,6	
11/09/03	EP40/GP	127	32	70	131	31,5	
MÁXIMO		134	35	73	132	32,6	15.100
MÍNIMO		116	31	61	111	25,3	11.600
MEDIO		126	33	69	123	28,9	13.350

Tabla 24 Características

También en todos los casos la plegabilidad fue positiva a -20°C.

El resto de las características de las láminas fueron también positivas.

Con esta formulación se bajó mucho el tiempo que tardaba el mástico desde el fillerizador hasta los depósitos de las líneas por lo que se ajustó un poco más la formulación.

Para ello, se preparó primero una masa en Laboratorio con la siguiente formulación:

MATERIA PRIMA	%	Kg
BETÚN	60	4.500
SBS	5,5	413
SBR	4,5	337
FILLER	30	2.250
TOTAL	100,00	7.500

Tabla 25 Ajustes formulación

...y se hicieron ensayos que dieron los siguientes resultados:

P.Rebl. °C	PENETRACIÓN dmm			PLEGABILIDAD °C	VISCOSIDAD, c.p.s.(180°C, 100 rpm)
	25°C	40°C	60°C		
126	25	69	115	(+) a -20°C	11.100

Tabla 26 Resultados

Como estos resultados se consideraron buenos, se decidió someter a ensayos las muestras almacenadas de distintas láminas fabricadas con esta fórmula en distintas fechas, dando los siguientes resultados:

FECHA	LÁMINA	P. Rebl. °C	Penetración, dmm			CENIZAS %
			25° C	40° C	60°C	
29/09/03	G 30 PE	124	32	66	111	28,3
30/09/03	G40/GPE	130	35	76	125	28,4
30/09/03	G 40 PE	126	39	81	130	26,4
30/09/03	G40/GPE	131	34	72	130	29,5
01/10/03	P180-50/GP	127	32	72	125	27,4
01/10/03	P 40 P	130	30	71	120	28,6
01/10/03	D 40 PE(95)	130	33	73	130	24,9
01/10/03	P180-60/GP	130	30	72	120	28,2
02/10/03	E 30 PE	127	30	72	135	28,9
02/10/03	G40/GPE	131	31	63	130	28,5
03/10/03	G40/GPE	129	32	66	129	29,2
03/10/03	G 40 PE	130	32	66	130	28,5
06/10/03	D 40 PE(95)	124	30	69	130	29,0
07/10/03	G40/GPE	131	30	63	121	29,0
07/10/03	G 40 PE	127	31	72	132	28,0
08/10/03	E 40 PE	128	30	64	120	28,1
08/10/03	E40/GPE	126	31	68	122	28,7
09/10/03	D 40 PE(95)	129	31	66	118	29,5
09/10/03	E 30 PE	128	31	68	118	28,9
09/10/03	G 30 PE	132	31	66	120	28,7
10/10/03	G 40 PE	126	31	65	120	29,7
10/10/03	G40/GPE	130	30	64	118	26,2
10/10/03	E 48 PE	127	32	66	122	26,2
14/10/03	EMON/GPE	137	29	60	103	29,5
14/10/03	E 40 PE	136	30	62	105	29,5
14/10/03	E 40 PE	129	31	66	111	29,2
15/10/03	EP50/GP	131	32	66	115	29,3
15/10/03	G 30 PE	128	31	67	110	29,4
MÁXIMO		137	39	81	135	29,7
MÍNIMO		124	29	60	103	24,9
MEDIO		129	31	68	121	28,4

Tabla 27 Resultados de ensayos

Con esta última fórmula, los problemas de viscosidad y de tiempos de traslado del mástico a las líneas de fabricación estaban superados, pudiéndose fabricar nuevamente de forma normal.

Resumiendo, las pruebas que se han hecho en fabricación han sido las siguientes:

COMPOSICIÓN	MASA 1	MASA 2	MASA 3	MASA 4
% R-27	56,0	58,8	57,5	60,0
% SBS	5,0	4,4	5,0	5,5
% SBR	8,0	6,8	6,5	4,5
% FILLER	31,0	31,0	31,0	30,0
P.Rebland., °C	138	130	126	129
Penetrac. a 25°C, dmm	29	24	33	31
Penetrac. a 40°C, dmm	54	57	69	68
Penetrac. a 60°C, dmm	94	106	123	121
Plegabilidad, °C	-25°	-20°	-20°	-20°
Viscosidad (a 180°C, RT 11, 100 rpm), cps	--	22.050	13.350	11.100

Tabla 28 Resultados formulación

La que mejor resultado da es la MASA 1 pero tiene el inconveniente de tener una gran viscosidad lo cual dificulta su fabricación.

Todas ellas dan buen resultado si las comparamos con las masas tradicionales de BETÚN-ELASTÓMERO (SBS).

4.9 PRODUCTO INSTALADO

Todas las láminas que se fabricaron con SBR en su composición, fueron colocadas, soldadas, en cubiertas de diferentes zonas, en diferentes climas y en diferentes países (entre ellos España).

En ningún caso se ha reportado problema alguno al instalar las láminas y se ha catalogado su comportamiento, durante la instalación, como normal.

Algunas de las láminas ya llevan instaladas más de 7 años y tampoco se ha reportado problema alguno. Hay que tener en cuenta que han sido sometidas a ensayos de envejecimiento, con resultados positivos, en ciclos combinados de 500 horas y de 1000 horas. En estos ensayos las probetas se someten a unas condiciones que tratan de reproducir en laboratorio las condiciones a las que estará expuesta la lámina en la realidad (sol y lluvia) mediante lámparas de rayos UV y riego por condensación. Estos ciclos corresponden al equivalente de estar la lámina expuesta a la intemperie durante 5 y 10 años respectivamente.

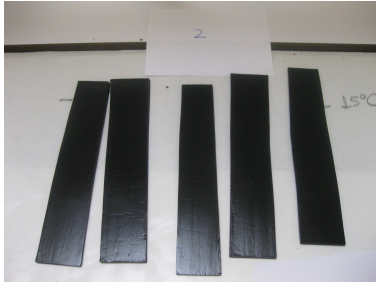


Figura 30 Selección de probetas

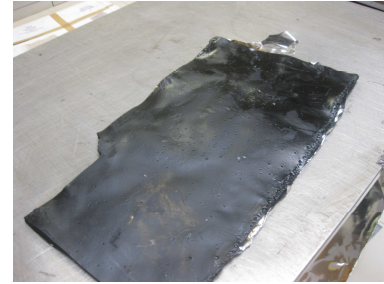


Figura 31 Probeta para estufas



Figura 32 Instalación en cubiertas



Figura 33 Instalación en muros

Como resumen de los resultados obtenidos del trabajo se adjunta una tabla (dividida en dos partes):

TABLA 29. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS LÁMINAS FABRICADAS EN 2003

INFORME LÁMINAS SBR

NOMBRE	PARTIDA	FECHA	MASA MEDIA kg/m ²	ESPESOR MEDIO mm	PÉRD. CALENT. %	PLEGAB. °C	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, A LA ROTURA, DIMENSION %				REVEST. BITUM. kg/m ²	ARMA. PRINC. kg/m ²	ARMA. SECUN. kg/m ²	PLÁST. TERMIN. kg/m ²	GRÁNULO kg/m ²	ARENA kg/m ²	RESULTADO
							L	T	L	T							
E40/GPE	3497/03	05/06/03	4,0	3,6	0,05	-20	837	494	38	42	-0,2	2,390	0,182	0,009	1,481	0,000	POSITIVO
E40/GPE	3734/03	13/06/03	4,1	3,7	0,05	-20	887	472	32	41	-0,1	2,398	0,183	0,013	1,432	0,000	POSITIVO
E 40 PE	3799/03	17/06/03	4,1	3,2	0,01	-20	829	511	44	47	-0,1	3,783	0,183	0,024			POSITIVO
E50/GPE	3798/03	17/06/03	5,3	4,2	0,04	-20	914	628	42	56	-0,1	3,644	0,181	0,017	1,425	0,000	POSITIVO
E50/GPE	3798/03	17/06/03	5,3	4,2	0,04	-20	914	628	42	56	-0,1	3,644	0,181	0,017	1,425	0,000	POSITIVO
E MON/GPE	3869/03	19/06/03	4,7	3,8	0,03	-20	732	644	45	48	-0,1	3,099	0,181	0,014	1,601	0,000	POSITIVO
G40/GPE	4279/03	08/07/03	4,6	3,7	0,04	-20	369	258				3,196	0,071	0,027	1,288	0,000	POSITIVO
E40/GPE	4302/03	08/07/03	4,2	3,6	0,03	-20	803	461	34	38	0,5	2,768	0,199	0,011	1,077	0,000	POSITIVO
E MON/GPE	4528/03	17/07/03	4,6	4,0	0,05	-20	837	459	36	43	0,2	2,886	0,283	0,013	1,451	0,000	POSITIVO
E MON/GPE	4990/03	06/08/03	4,6	3,7	0,03	-20	835	476	37	49	-0,3	3,056	0,177	0,013	1,198	0,000	POSITIVO
E40/GPE	5562/03	28/08/03	4,3	3,8	0,04	-20	811	432	33	41	-0,4	2,635	0,184	0,017	1,415	0,000	POSITIVO
EP40/GP	5937/03	10/09/03	4,2	3,5	0,06	-20	695	520	41	50	0,0	2,432	0,177	0,027	1,406	0,000	POSITIVO
EP40PE	5943/03	11/09/03	4,0	3,2	0,03	-20	690	489	45	48	0,2	3,681	0,184	0,027			POSITIVO
G45/GPE	6453/03	30/09/03	5,1	3,3	0,04	-20	423	206				3,593	0,111	0,015	1,308	0,000	POSITIVO
P180-50/GP	6513/03	01/10/03	6,0	3,9	0,03	-15	718	676	44	47	0,0	4,261	0,205	0,013	1,414	0,000	POSITIVO
P180-48P	6512/03	01/10/03	5,0	4,1	0,01	-20	941	645	44	47	-0,1	4,682	0,208	0,028			POSITIVO
P180-30P	6514/03	01/10/03	3,1	2,6	0,01	-20	953	643	43	52	0,0	2,922	0,203	0,028			POSITIVO
E 30 PE	6535/03	02/10/03	3,2	2,5	0,02	-20	667	503	39	49	-0,1	3,151	0,172	0,027			POSITIVO

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS LÁMINAS FABRICADAS EN 2003 (continuación)

INFORME LÁMINAS SBR

NOMBRE	PARTIDA	FECHA	MASA MEDIA kg/m ²	ESPESOR MEDIO mm	PÉRD. CALENT. %	PLEGAB. °C	RESISTENCIA A ELONGACIÓN LA TRACCIÓN, A LA ROTURA, DIMENSION %					REVEST BITUM. kg/m ²	ARMA. PRINC. kg/m ²	ARMA. SECUN. kg/m ²	PLÁST. TERMIN. kg/m ²	GRÁNULO kg/m ²	ARENA kg/m ²	RESULTADO
							L	T	L	T	L	T						
D 30 PE	6625/03	06/10/03	3,2	2,6	0,02	-20	165	154	250	250	2,3	2,995	0,086		0,028			POSITIVO
G40/GPE	6671/03	07/10/03	4,1	2,6	0,06	-20	401	285				2,779	0,074		0,017	1,158	0,000	POSITIVO
E 30 PE	6685/03	09/10/03	3,2	2,5	0,02	-20	861	494	43	54	-0,1	2,939	0,196		0,028			POSITIVO
P180-35AP	6734/03	09/10/03	3,6	3,1	0,03	-20	779	612	43	44	-0,1	2,949	0,203		0,016		0,423	POSITIVO
EQUERRE A	6752/03	09/10/03	4,4	3,5	0,03	-20	845	492	39	61	0,0	3,587	0,185		0,017		0,346	POSITIVO
EP50/GP	6808/03	14/10/03	5,3	4,2	0,04	-20	687	503	42	48	-0,1	3,914	0,181		0,013	1,220	0,000	POSITIVO
E MONI/GPE	6828/03	14/10/03	4,8	4,0	0,03	-20	836	461	39	53	-0,1	3,389	0,182		0,012	1,160	0,000	POSITIVO
P 40 P	6846/03	14/10/03	4,0	3,3	0,02	-20	1,308	754	53	51	-0,1	3,721	0,243		0,028			POSITIVO
P180-48Paiki	6889/03	14/10/03	4,7	4,2	0,04	-20	1,004	846	45	51	0,0	4,152	0,209	0,229	0,019			POSITIVO
E 30 PE Ja.	6851/03	15/10/03	3,1	2,5	0,02	-20	876	510	43	55	-0,2	2,873	0,181		0,027			POSITIVO
Nº ENSAYOS POSITIVOS:											28							
Nº TOTAL DE ENSAYOS:											28							
Nº ENSAYOS NEGATIVOS:											0							
% ENSAYOS POSITIVOS:											100							
% ENSAYOS NEGATIVOS:											0							

5. SITUACIÓN EN ESPAÑA: MARCO LEGAL

Para poder utilizar polvo de NFU's en la fabricación de láminas asfálticas para la impermeabilización en la construcción, contando con la continuidad en el suministro por parte de los que manejan el sector del reciclado, conviene conocer cual es la situación del sector de los neumáticos en España y todo lo relacionado con la recogida, el tratamiento y reciclado de los neumáticos fuera de uso.

Las directivas de la CE han establecido unos plazos máximos para la solución del problema del vertido de los neumáticos enteros, así como el vertido de los neumáticos troceados. Estas directivas son:

- Directiva del Consejo 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos.
- Directiva 2.000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil.
- Directiva 2.000/76/CE relativa a la incineración de residuos.

La Directiva Europea relativa al vertido de residuos excluye los neumáticos de bicicletas, los de radio mayor de 1.400 mm y los de maquinaria de ingeniería civil.

Diversas Comunidades Autónomas han establecido normativas específicas para afrontar el problema en toda su dimensión como es el caso de la Junta de Castilla y León, pionera en éste aspecto junto con el País Vasco, y posteriormente la Comunidad Valenciana.

En España el Real Decreto del 30 de diciembre de 2005 (1619/2005), sobre la gestión de neumáticos fuera de uso, establece los siguientes puntos:

- Planes empresariales de prevención de neumáticos fuera de uso.
- Obligaciones del productor de neumáticos.
- Obligaciones de los generadores y poseedores de neumáticos fuera de uso.
- Obligaciones de los gestores de neumáticos fuera de uso.
- Almacenamiento y eliminación de neumáticos fuera de uso.
- Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.
- Financiación de los sistemas integrados de gestión.

- Condiciones técnicas para el almacenamiento de neumáticos fuera de uso.

El Real Decreto distingue entre productor, generador, poseedor y gestor de neumáticos fuera de uso, según las siguientes definiciones:

Productor de neumáticos: persona física o jurídica que fabrique, importe o adquiera en otros estados miembros de la Unión Europea, neumáticos que sean puestos en el mercado nacional.

Generador de neumáticos fuera de uso: persona física o jurídica que, como consecuencia de su actividad empresarial o de cualquier otra actividad, genere neumáticos fuera de uso. Queda excluido de tal condición el usuario o propietario del vehículo que los utiliza.

Poseedor: el generador de neumáticos fuera de uso o la persona física o jurídica que los tenga en su poder y no tenga la condición de gestor de neumáticos fuera de uso.

Gestor de neumáticos fuera de uso: la persona física o jurídica que realice cualquiera de las operaciones de gestión de neumáticos fuera de uso y que esté autorizada al efecto cuando corresponda.

Los aspectos más importantes del Real Decreto son:

Planes empresariales de prevención de neumáticos fuera de uso:

- Obligaciones del productor de neumáticos.
- Obligaciones de los generadores y poseedores de neumáticos fuera de uso.
- Obligaciones de los gestores de neumáticos fuera de uso.
- Almacenamiento y eliminación de neumáticos fuera de uso.

Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso:

- Financiación de los sistemas integrados de gestión.

- Condiciones técnicas para el almacenamiento de neumáticos fuera de uso.

5.1 EJEMPLO DE SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN

Signus Ecovalor es una entidad gestora del sistema integrado de gestión de los neumáticos usados fundada por los mayores fabricantes e importadores de neumáticos que operan en nuestro país: Bridgestone, Continental, Goodyear-Dunlop, Michelin y Pirelli. Su misión es garantizar el cumplimiento de las obligaciones derivadas del nuevo Real Decreto sobre NFU en nombre de sus clientes.

La sociedad, sin ánimo de lucro, es la primera de estas características en España. Hace frente a las responsabilidades medioambientales que asumen los productores e importadores de neumáticos y responde a los objetivos de reducción, reciclaje y valoración definidos en el nuevo marco legislativo.

5.2 COMPARACIÓN CON OTROS PAISES

Actualmente no existen estadísticas muy fiables respecto al reciclado de neumáticos en los distintos países de la Unión Europea, ya que los datos aportados por los países miembros están basados en estimaciones sobre la venta de nuevos coches y de neumáticos nuevos, en vez de en los datos reales sobre la gestión de los neumáticos usados. Aún así, hemos encontrado algunos datos aportados por la Asociación Europea de Reciclado de Neumáticos (ETRA).

El número de neumáticos fuera de uso generados por los distintos países europeos en el año 2004 se muestran en la siguiente tabla (Tabla30):

Número de neumáticos generados por los países de la UE (Fuente: ETRA)

Estado Miembro	Neumáticos usados (toneladas/año)	Población (millones personas)	Kg neumático usado/persona
Alemania	640.000	81,8	7,8
Austria	51.000	8,1	6,3
Bélgica	70.000	10,1	6,9
Dinamarca	41.200	5,2	7,8
España	280.000	39,2	7,1
Francia	401.000	58,3	6,9
Grecia	58.500	10,5	5,9
Holanda	67.500	15,5	4,3
Italia	434.500	57,3	7,6
Luxemburgo	3.100	0,41	7,5
Portugal	52.000	9,9	5,2
Reino Unido	435.000	58,7	7,4
Suecia	62.000	8,8	7,0
Total UE	2.659.100	3726,6	7,1

Tabla 30 NFU'S por paises de la UE

5.3 COMENTARIOS AL ESTUDIO COMPARATIVO

La evolución que ha tenido el tratamiento de los neumáticos fuera de uso en los países miembros anteriormente mencionados, entre los años 1998 y 2006, tiene como datos relevantes los comentados a continuación:

- En 1998 el 40 % de los neumáticos fuera de uso de los 12 países fueron depositados en vertedero, y sólo el 60% fue tratado por otras vías.
- En 2006 la situación ha sido totalmente diferente: en los 15 países miembros, el 87 % de los neumáticos usados fueron llevados a reutilización, recauchutado, reciclado o recuperación energética, y un 13% fueron llevados a vertedero.
- Las dos vías principales de valorización, son el reciclado y la recuperación energética, a las que se destinan el 71% de los neumáticos fuera de uso.

Dicha evolución podemos contemplarla en la siguiente tabla, en la que se muestran los porcentajes de neumáticos llevados a las distintas alternativas, entre los años 1998 y 2006.

Año	1998	2000	2002	2004	2006
Reutilización Exportación	11%	10%	10%	11%	6%
Recauchutado	11%	11%	11%	12%	10%
Reciclaje (gránulos y polvo de caucho)	18%	19%	21%	27%	34%
Recuperación energética	20%	21%	23%	27%	37%
Vertedero	40%	39%	35%	23%	13%

Tabla 31 Evolución del mercado de la unión europea 1998-2006

(Fuente: ETRA)

Centrándonos ahora en la situación española, podemos ver a continuación la situación aproximada para las distintas alternativas en el año 2007 según SIGNUS y TNU, dado que no se dispone de datos más recientes.

MERCADOS	Toneladas /año	% sobre el Total de Tn /Año
Reutilización Exportación	24.785	9,59
Reciclado	137.076	53
Obra Civil	9153	3,54
Recuperación Energética	37.259	14,42
Depósito	50.000	19,35
Total	258.273	100

Tabla 32 Situación actual del mercado aproximada en España (año 2007)

Tampoco se tienen datos de la producción de láminas asfálticas para la impermeabilización en la edificación, fabricadas con aditivos a base de polvo de neumáticos reciclados.

Menos aún en estos tiempos que corren, que ni siquiera permiten hacer un pronóstico de la construcción en España.

6. CONCLUSIONES

LÁMINAS ASFÁLTICAS

Incorporación de polvo de NFU's

- Se puede utilizar la granza de caucho recuperado de neumático para hacer láminas impermeabilizantes bituminosas, sustituyendo parte del elastómero por el SBR.
- El tamaño de la granza que mejor comportamiento tiene, tanto en máquina como en producto final, es el de 400 μ – 600 μ , preferiblemente el de 400 μ .
- El origen de la granza, criogénico ó mecánico, no influye apenas en las características finales del producto.
- El producto obtenido tiene mejor comportamiento a la luz UV y mejor envejecimiento que las láminas impermeabilizantes bituminosas de betún-SBS.
- Dependiendo de la instalación de la que se disponga, se puede utilizar una formulación con un mayor ó menor contenido en SBR.
- Cuanto mayor es el contenido de SBR mejor es la susceptibilidad térmica de la masa obtenida.
- El manejo y almacenamiento de la granza de SBR procedente de neumáticos viejos debe ser muy cuidadoso debido al alto poder calorífico que tiene.

7. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Fabricación de láminas impermeabilizantes de betún modificado con polvo de neumáticos (SBR) con placa solar incorporada.
- Completar el trabajo ampliando el número de fábricas a estudio en mi futura tesis doctoral.
- Estudio del proceso de fabricación de láminas para aislamiento acústico a ruido de impacto con aditivos tipo NFU's
- Reutilización de polvo de neumáticos en la fabricación de geotextiles

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- (1) ROMOLO GORGATI, *Impermeabilizzazione delle costruzioni*, l' Instituto di Architettura Tecnica Della Universita di Bologna, 1974
- (2) ANGEL CUEVAS y otros, *Materiales sintéticos para la impermeabilización en Ingeniería Civil*, CEDEX, Madrid, 1996
- (3) ANTONIO RUIZ DUERTO, *Documentos de Idoneidad Técnica*, IETcc, Madrid, 1996
- (4) J.J. ORTEGA Y LÓPEZ DE PRADO, *Cubiertas planas e impermeabilización. Cubiertas inclinadas*. C.O.A.A.T. de Madrid, 1987
- (5) SANTIAGO IBORRA, *El Sistema de Cubierta Invertida*, DOW CHEMICAL IBERICA, S.A., Barcelona, 1987
- (6) THOMAS L. SMITH, KAREN Y. LIU, RALPH M. PAROLI Y PHILLIP W. CHILDS, *Field Performance of APP Modified Bitumen Roof Membranes and Coatings*, X th Congreso of IWA, Copenhagen, 1998
- (7) JAVIER BRASAL, *Estudio comparativo de envejecimiento de láminas asfálticas*, CEDEX, Madrid, 1996
- (8) ALFONSO GARCÍA SANTOS, *Cuadernos Monográficos sobre los Plásticos en la Construcción*, Instituto Juan de Herrera de la E.T.S.A. de Madrid, 1999
- (9) F. HERNÁNDEZ OLIVARES, G. BARLUENGA, M. R. BOLLATI, B. WITOSZEK. *Static and dynamic behaviour of recycled type rubber-filled concrete*. Cement and Concrete Research, 32 (10) (2002) 1587-1596
- (10) F. HERNANDEZ OLIVARES, B. WITOSZEK-SCHULTZ, M. ALONSO-FERNANDEZ, C. BENITO-MORO. *Rubber modified hot-mix asphalt pavement*

by dry process. International Journal of Pavement Engineering, (2002) doi: 10.1080/10298430802169416

(11) F. PÉREZ-JIMÉNEZ, R. MIRÓ RECASENS, A. MARTÍNEZ, C. MARTÍNEZ LAÍNEZ, A. PÁEZ DUEÑAS, *Evaluación de la cohesión de betunes modificados con polvo de neumáticos*. Materiales de Construcción, 56, 284, 43-54 (Octubre-Diciembre 2006)

(12) ESTHER TOMAS, JOSÉ MAESO, FERNANDO VALOR, RAMÓN TOMÁS, *Másticos bituminosos modificados con polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso*. Laboratorio de materiales y geotecnia (CIESM) (Marzo 2007)

(13) RAMÓN GRAUS, *La cubierta plana, un paseo por su historia*, UPC Dpto. Construcciones Arquitectónicas I y II, Dpto. de Composición Arquitectónica, 50 aniversario de TEXSA 1954-2004, Barcelona (2005).

(14) Informe sobre el proyecto de instalación de una planta de incineración de neumáticos mediante Termólisis en la localidad de Alloza (Teruel). Depto. Medioambiente CCOO (Aragón). (2004)

(15) Investigación para el aprovechamiento de caucho de neumáticos y cenizas para carreteras y hormigones. Pavimentos Asfálticos de Salamanca, S.L. ,2006-2007

(16) Neumáticos fuera de uso

(17) Fuente: RENECAL

9. OTRAS FUENTES DOCUMENTALES

- www.waste.ideal.es/neumaticos.htm
- www.signus.es
- Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM)
- Características de los neumáticos.htm
- Causas del desgaste de neumáticos.htm
- Consumer.es EROSKI
- Goddyear España.Tutor de neumáticos
- Vredestein Building Tyres. htm
- Asociación Europea de Reciclado de Neumáticos (ETRA).

10. NORMAS DE REFERENCIA

AENOR

EN 1107-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la estabilidad dimensional a elevada temperatura. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas.*

EN 1108 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la estabilidad dimensional bajo cambios cíclicos de temperatura.*

EN 1109 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la flexibilidad a bajas temperaturas.*

EN 1110 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a la fluencia a elevadas temperaturas.*

EN 1296 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Método de envejecimiento artificial mediante larga exposición a temperatura elevada.*

EN 1297 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Método de envejecimiento artificial por exposición prolongada a la combinación de radiación UV, temperatura elevada y agua.*

EN 1848-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la longitud, anchura y rectitud. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas.*

EN 1849-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación del espesor y de la masa por unidad de área. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas.*

EN 1850-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de defectos visibles. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas.*

EN 1928:2000 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la estanquidad al agua.*

EN 1931 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de las propiedades de transmisión del vapor de agua.*

EN 12039 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas para impermeabilización de cubiertas. Determinación de la pérdida de gránulos.*

EN 12310-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia al desgarro (por clavo).*

EN 13707:2004+A2:2009

EN 12311-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de las propiedades de tracción.*

EN 12316-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia al pelado del solape.*

EN 12317-1 *Láminas flexibles para impermeabilización. Parte 1: Láminas bituminosas para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a la cizalla de la soldadura.*

EN 12691 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia al impacto.*

EN 12730:2001 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a una carga estática.*

EN 13416:2001 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Reglas para la toma de muestras.*

EN 13501-1:2002 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*

{A1▶} EN 13501-5 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 5: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de cubiertas ante la acción de un fuego exterior. {◀A1}*

EN 13897 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. Determinación de la estanquidad tras alargamiento a baja temperatura.*

EN 13948 *Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a la penetración de raíces.*

EN ISO 11925-2 *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única. (ISO 11925-2:2002).*